

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЗАКЛАД ВИЩОЇ ОСВІТИ «ПОДІЛЬСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ»**

Кваліфікаційна освітньо-наукова  
праця на правах рукопису

**ГРИГОРАШ ПЕТРО БОРИСОВИЧ**

УДК 619:628.4.03:579.6

**ДИСЕРТАЦІЯ  
ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ТА РОЗРОБКА БІОЛОГІЧНОГО  
ПРЕПАРАТУ НА ОСНОВІ МІКРООРГАНІЗМІВ ДЛЯ БІОДЕСТРУКЦІЇ  
СВИНЯЧОГО ГНОЮ**

211 – ветеринарна медицина

Подається на здобуття наукового ступеня  
доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень.  
Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання  
на відповідне джерело



П. Б. Григораш

Науковий керівник – **Горюк Юлія Вікторівна**,  
доктор ветеринарних наук, доцент

Кам'янець-Подільський – 2026

## АНОТАЦІЯ

Григораш П. Г. Теоретичне обґрунтування та розробка біологічного препарату на основі мікроорганізмів для біодеструкції свинячого гною.

Кваліфікаційна освітньо-наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 211 – Ветеринарна медицина (21 Ветеринарія). Заклад вищої освіти «Подільський державний університет», Кам'янець-Подільський, 2026.

Зростання попиту на харчові продукти стимулює інтенсивний розвиток тваринництва, що спричинює негативний вплив на навколишнє середовище. У різних частинах світу тваринництво є висококонцентрованим, тобто збільшується кількість тварин, і, відповідно, зростає забруднення води, ґрунтів та атмосферного повітря. Свинарство відноситься до тваринницької галузі, яка суттєво впливає на екосистему через накопичення значної кількості відходів із неприємним запахом. Забруднювачі повітря, які утворюються на тваринницьких фермах, можуть безпосередньо впливати на здоров'я тварин, працівників господарств та осіб, які проживають у навколишній місцевості.

Запахи, що виходять із великих свиноферм, є дуже неприємні для людей, які живуть поблизу. Встановлено, що запах, який виходить із свиноферм, є складною сумішшю газів, що складається з понад 160 хімічних компонентів і в основному включає сполуки сірки, аміак і летючі аміни, а також індоли та леткі жирні кислоти. Ці гази можуть викликати подразнення дихальних шляхів, алергію, астму, підвищену сприйнятливість до інфекційних захворювань, дратівливість, стрес, хронічні головні болі, нудоту, млявість і багато іншого в осіб, які піддаються тривалому впливу.

Загалом, враховуючи таку ситуацію, перспективним є застосування біодеструкторів у технологіях зберігання та обробки органічних відходів тваринництва з метою оптимізації азотного балансу. Таке регулювання дозволяє не лише зменшити потенційне екологічне навантаження на навколишнє середовище, а й підвищити агрономічну цінність гною як добрива за рахунок зменшення нітритного навантаження та стабілізації інших форм азоту.

Дисертаційна робота спрямована на обґрунтування та розробку ефективного біологічного препарату для біодеструкції свинячого гною у піддологовій гноєвій ванні.

Акцентовано увагу на те, що показники вмісту МАФАНМ та грибів у біоаерозолі свинарників за відгодівлі свиней залежали від пори року та тривалості відгодівлі. У зимові місяці кількість МАФАНМ у біоаерозолі свинарників протягом усього періоду відгодовування свиней була в 8,0 та 2,8 рази більша, ніж у літні та осінні місяці. Зокрема, взимку кількість МАФАНМ і грибів у біоаерозолі через 2,5 місяці відгодовування становила  $8,8 \pm 0,3 \times 10^5$  та  $1,3 \pm 0,08 \times 10^3$  КУО/м<sup>3</sup>, відповідно, а літом  $1,1 \pm 0,09 \times 10^5$  та  $8,1 \pm 0,2 \times 10^2$  КУО/м<sup>3</sup>, відповідно. Виявлено відносно низьку родову й видову варіацію складу мікрофлори біоаерозолу свинарників протягом року. Оскільки, основні представники мікробіоти біоаерозолу протягом року були незмінні та склалися з стафілококів, мікрококів та стрептококів, на частку яких припадало 50 – 60 % від усіх ідентифікованих бактерій. Від 20 до 26 % у складі біоаерозолу протягом року становили грамнегативні форми бактерій. З біоаерозолу приміщень для відгодівлі свиней в літній та зимовий періоди виділялися в незначній кількості умовно-патогенні види стафілококів (*S. aureus*), псевдомонад (*P. aeruginosa*), які можуть бути збудниками різних запальних процесів.

Отже, виявлено, що для забезпечення комфортного середовища у приміщенні для відгодівлі свиней необхідно налагодити відповідну систему вентиляції, яка повинна бути добре спроектована і керована, оскільки вона суттєво впливає на концентрацію біоаерозолів у свинарнику.

Опираючись на аналітичні дані огляду літератури щодо використання вітчизняних і закордонних біологічних препаратів для покращення гігієнічних показників повітря у свинарниках та санітарного стану накопиченого гною, нами обґрунтовано властивості, які повинні проявляти препарати біодеструктори у рідкій фазі свинячого гною у гноєвій ванні. Враховуючи основні вищеперераховані властивості, які мають бути у препаратів біодеструкторів, було науково підібрано мікроорганізми для препарату. На підставі теоретичних та експериментальних даних розроблено склад біологічного препарату

«Санаеро» для біодеструкції свинячого гною у гноєвій ванні, у склад якого входять наступні мікроорганізми (КУО/мл): *Bacillus subtilis* – 1 млрд, *Bacillus licheniformis* – 1 млрд, *L. plantarum* – 1 млрд, *P. fluorescens* – 0,5 млрд, *S. cerevisiae* – 0,5 млрд, *Azotobacter chroococcum* – 0,5 млрд, *Cellulomonas spp.* – 0,5 млрд. Розроблено технологічну блок-схему виробництва біологічного препарату на основі мікс-культур мікроорганізмів для біодеструкції свинячого гною у гноєвій ванні, яка включає операції від приготування живильних середовищ для культивування мікроорганізмів до приготування робочого розчину у виробничих умовах.

Отже, розроблений біологічний деструктор гною «Санаеро» – це мікробний препарат, у якому підібрано симбіотичні, сапрофітні мікроорганізми для розкладання органічних речовин, які максимально знижують продукування шкідливих неприємних газів.

Під час вивчення динаміки основних мікроорганізмів у свинячому гної за наповнення підпідлогової ванни і обробки біологічним препаратом деструктором «Санаеро» отримали наступні дані. Встановлено, що у гної відбувається активний розвиток пробіотичних мікроорганізмів, зокрема *Bacillus spp.*, *Lactobacillus spp.* та *Pseudomonas spp.*, кількість яких суттєво зростає вже з 2 – 5 доби, досягаючи експоненційного рівня ( $10^6$  –  $10^7$  КУО/г) на 9 – 17 доби. Одночасно спостерігається зниження чисельності шкідливих *Clostridium spp.* на 1 – 1,5 порядки, у порівнянні з контролем. Це дозволяє покращити санітарний стан приміщень, зменшити запах та шкідливі викиди.

Отже, оброблення свинячого гною у підпідлоговій ванні біодеструктором «Санаеро» впливає на його загальне бактеріальне обсяження, оскільки інтенсифікуються мікробіологічні процеси, ефективно оптимізує мікробіологічний склад свинячого гною, забезпечуючи біологічне збагачення субстрату та пригнічення небажаної мікрофлори.

Під час дослідження процесів трансформації азоту у свинячому гної в підпідлоговій ванні за оброблення його біодеструктором «Санаеро» встановлено, що процес накопичення аміаку за температури навколишнього середовища + 20 – + 25 °С проходить, в 1,5 – 2,0 раза ( $P < 0,05$ ) повільніше, ніж

у гної без біодеструктора, а за температури + 15 – + 17 °С, в середньому в 1,4 раза. Це вказує, що мікроорганізми біодеструктора «Санаеро» зумовлюють утримування аміаку у гної, знижуючи перетворення його у газоподібну форму, яка забруднює повітря приміщень свинарників. Динаміка концентрації нітритів у рідкому свинячому гної в гноєвій ванні протягом 17 діб її наповнення в літній період показала суттєвий вплив біодеструктора «Санаеро» на процес розпаду азотистих сполук. Зокрема, у дослідних пробах гною максимальна концентрація нітритів досягала  $17,5 \pm 0,8$  мг/л на п'яту добу, тоді як у контрольних без біодеструктора –  $24,3 \pm 1,5$  мг/л на дев'яту добу. Це вказує на швидший процес нітрифікації за присутності мікроорганізмів біодеструктора внесених у гній, за якого аміак окислюється до нітритів, тим самим зменшуючи потенційний негативний вплив нітритів на навколишнє середовище. Виявлено, що нітрати у рідкому свинячому гної у гноєвій ванні мають іншу динаміку накопичення, ніж нітрити. Зокрема, концентрація нітратів у дослідному гної інтенсивно зростала протягом п'яти діб – до  $63,8 \pm 4,1$  мг/л, а у контрольному протягом дев'ять діб – до  $77,4 \pm 4,8$  мг/л, надалі їх концентрація знижувалась і на 17 добу становила  $22,5 \pm 0,8$  мг/л у досліді та практично в 2 рази ( $P < 0,05$ ) більша кількість у контролі –  $40,6 \pm 2,9$  мг/л. Це свідчить на швидший процес денітрифікації у гної з біодеструктором «Санаеро». Застосування біодеструктора істотно впливало на уповільнення втрат загального азоту через різні мікробіологічні й біохімічні процеси. Зокрема, на 17 добу наповнення гноєвої ванни у гної з біодеструктором концентрація загального азоту становила  $805 \pm 41,7$  мг/л, що в середньому в 1,6 раза ( $P < 0,05$ ) вища, ніж у гної в контролі –  $515 \pm 34,8$  мг/л. Виявлено, що мікроорганізми біодеструктора знижують рН гною у кислу сторону до 5,87 од за його накопичення у гноєвій ванні, тим самим гальмують процеси перетворення азоту в аміак, що зменшує викид його в навколишнє середовище.

Дослідження зміни концентрації аміаку і сірководню у повітрі свинарників за відгодівлі свиней під час застосування препарату для деструкції гною «Санаеро» показали таку тенденцію. Найвищу концентрацію аміаку в повітрі боксів було зафіксовано на дев'яту добу у контрольних пробах –  $56,7 \pm 3,9$  мг/м<sup>3</sup> та в 2,1 раза ( $P < 0,05$ ) меншу концентрацію ( $25,8 \pm 1,7$  мг/м<sup>3</sup>) у приміщеннях, у

яких добавляли до гноєвої ванни біодеструктор «Санаеро». Надалі спостерігали поступове зменшення концентрації аміаку у контрольних й дослідних приміщеннях, так на 17 добу вміст аміаку становив  $25,1 \pm 1,6$  мг/м<sup>3</sup> у повітрі в контролі та  $11,8 \pm 0,8$  мг/м<sup>3</sup> у повітрі досліді. Це свідчить про активніше виділення газоподібного аміаку з гною в повітря у контролі та повільніше у досліді з використанням біодекструктора «Санаеро».

Встановлено, що оброблення гною у свинарниках біодеструктором «Санаеро» дозволяє зменшити утворення сірководню у повітрі боксів, приблизно в 2 – 3 рази, порівнюючи з контрольними боксами за температури навколишнього середовища + 20 – +25 °С.

Отже, під час виробничого застосування розробленого нами біодеструктора «Санаеро» спостерігається значна позитивна кореляція щодо зменшення виділення аміаку та сірководню в повітря свинарників, порівнюючи з приміщеннями, у яких біодеструктор не застосовували.

Встановлено, що мікроорганізми біодеструктора «Санаеро» діють антагоністично у свинячому гної щодо клітин кишкової палички й золотистого стафілококу. При цьому вміст кишкової палички зменшувався, в середньому на два порядки на закінчення виробничого процесу із заповнення підпідлогової гноєвої ванни, а золотистий стафілокок повністю інгібувався. До того, ж кількість кишкової палички у гної у досліді була, в середньому в 4 – 8 разів менша, ніж у контролі. Це засвідчує на пригнічення активності умовно-патогенних бактерій мікроорганізмами біодеструктора навіть за низької температури навколишнього середовища. Застосування біодеструктора «Санаеро» у свинарниках сприяє істотному зниженню рівня мікробного обсіяння повітря, зокрема кількості МАФАНМ та грибової мікробіоти. Ефект помітний уже на п'яту добу застосування біопрепарату та зберігається протягом усього періоду наповнення гноєвої ванни. Отже, використання біодеструктора «Санаеро» є ефективним засобом покращення санітарного стану повітря у свинарниках.

**Ключові слова:** свині, біологічний препарат, антибіотикорезистентні бактерії, *E. coli*, *S. aureus*, *Bacillus* spp., санітарний стан, гігієнічні показники мікроклімату, біодеструктор свинячого гною, дезінфекція.

## ANNOTATION

Grigorash P. B. Theoretical substantiation and development of a biological preparation based on microorganisms for the biodegradation of pig manure.

Qualifying educational and scientific work as a manuscript.

Dissertation for obtaining the degree of Doctor of Philosophy in specialty 211 – Veterinary Medicine (21 Veterinary). Higher educational institution «Podillia State University», Kamianets-Podilskyi, 2026.

The growing demand for food products stimulates the intensive development of livestock production, which causes a negative impact on the environment. In different parts of the world, livestock production is highly concentrated, that is, the number of animals increases and, accordingly, pollution of water, soils and atmospheric air increases. Pig farming belongs to the livestock sector that significantly affects the ecosystem due to the accumulation of a significant amount of waste with an unpleasant odor. Air pollutants formed on livestock farms can directly affect the health of animals, farm workers and people living in the surrounding area.

Odors emitted from large pig farms are very unpleasant for people who live nearby. It has been established that the odor coming from pig farms is a complex mixture of gases consisting of more than 160 chemical components and mainly includes sulfur compounds, ammonia and volatile amines, as well as indoles and volatile fatty acids. These gases can cause irritation of the respiratory tract, allergies, asthma, increased susceptibility to infectious diseases, irritability, stress, chronic headaches, nausea, lethargy and many other effects in individuals exposed to long-term influence.

In general, considering such a situation, the use of biodegraders in technologies of storage and processing of organic livestock waste is promising in order to optimize the nitrogen balance. Such regulation allows not only to reduce the potential environmental load on the environment but also to increase the agronomic value of

manure as a fertilizer due to the reduction of nitrite load and stabilization of other forms of nitrogen.

The dissertation work is aimed at substantiating and developing an effective biological preparation for the biodegradation of pig manure in an underfloor manure bath.

Attention is focused on the fact that the indicators of the content of mesophilic aerobic and facultative anaerobic microorganisms (MAFAnM) and fungi in the bioaerosol of pig houses during pig fattening depended on the season and the duration of fattening. In winter months the number of MAFAnM in the bioaerosol of pig houses during the entire fattening period was 8.0 and 2.8 times higher than in summer and autumn months. In particular, in winter the number of MAFAnM and fungi in the bioaerosol after 2.5 months of fattening was  $8.8 \pm 0.3 \times 10^5$  and  $1.3 \pm 0.08 \times 10^3$  CFU/m<sup>3</sup>, respectively, and in summer  $1.1 \pm 0.09 \times 10^5$  and  $8.1 \pm 0.2 \times 10^2$  CFU/m<sup>3</sup>, respectively.

A relatively low generic and species variation of the microflora composition of pig house bioaerosols during the year was revealed. Since the main representatives of the bioaerosol microbiota during the year were unchanged and consisted of staphylococci, micrococci and streptococci, which accounted for 50–60% of all identified bacteria. From 20 to 26% of the bioaerosol composition during the year consisted of gram-negative forms of bacteria. From the bioaerosol of pig fattening premises in summer and winter periods, in insignificant quantities, opportunistic species of staphylococci (*S. aureus*) and pseudomonads (*P. aeruginosa*) were isolated, which can be causative agents of various inflammatory processes.

Thus, it was revealed that in order to ensure a comfortable environment in pig fattening premises it is necessary to establish an appropriate ventilation system that must be well designed and controlled, since it significantly affects the concentration of bioaerosols in pig houses.

Based on analytical data of the literature review on the use of domestic and foreign biological preparations to improve hygienic indicators of air in pig houses and the sanitary condition of accumulated manure, we substantiated the properties that biodegrader preparations should exhibit in the liquid phase of pig manure in the manure bath. Taking into account the main above-mentioned properties that biodegrader

preparations should have, microorganisms for the biodegrader preparation were scientifically selected.

On the basis of theoretical and experimental data, the composition of the biological preparation «Sanaero» for biodegradation of pig manure in the manure bath was developed, which includes the following microorganisms (CFU/ml): *Bacillus subtilis* – 1 billion, *Bacillus licheniformis* – 1 billion, *L. plantarum* – 1 billion, *P. fluorescens* – 0.5 billion, *S. cerevisiae* – 0.5 billion, *Azotobacter chroococcum* – 0.5 billion, *Cellulomonas* spp. – 0.5 billion.

A technological block diagram for the production of a biological preparation based on mixed cultures of microorganisms for the biodegradation of pig manure in the manure bath was developed, which includes operations from the preparation of nutrient media for cultivation of microorganisms to the preparation of the working solution under production conditions.

Thus, the developed biological manure destructor «Sanaero» is a microbial preparation in which symbiotic saprophytic microorganisms are selected for the decomposition of organic substances that maximally reduce the production of harmful unpleasant gases.

During the study of the dynamics of the main microorganisms in pig manure during filling of the underfloor bath and treatment with the biological destructor preparation «Sanaero», the following data were obtained. It was established that active development of probiotic microorganisms occurs in manure, in particular *Bacillus* spp., *Lactobacillus* spp. and *Pseudomonas* spp., the number of which significantly increases already from 2–5 days, reaching an exponential level ( $10^6$ – $10^7$  CFU/g) on 9–17 days. At the same time, a decrease in the number of harmful *Clostridium* spp. by 1–1.5 orders compared to the control was observed. This allows improving the sanitary condition of the premises, reducing odor and harmful emissions.

Thus, treatment of pig manure in the underfloor bath with the biodegrader «Sanaero» affects its total bacterial contamination, since microbiological processes intensify and the microbiological composition of pig manure is effectively optimized, ensuring biological enrichment of the substrate and suppression of undesirable microflora.

During the study of nitrogen transformation processes in pig manure in the underfloor bath when treated with the biodegrader «Sanaero», it was established that the process of ammonia accumulation at an ambient temperature of +20 – +25°C occurs 1.5–2.0 times ( $P < 0.05$ ) slower than in manure without the biodegrader, and at a temperature of +15 – +17 °C on average 1.4 times slower. This indicates that the microorganisms of the biodegrader «Sanaero» cause retention of ammonia in manure, reducing its conversion into a gaseous form that pollutes the air of pig houses.

The dynamics of nitrite concentration in liquid pig manure in the manure bath during 17 days of its filling in the summer period showed a significant influence of the biodegrader «Sanaero» on the process of decomposition of nitrogen compounds. In particular, in experimental manure samples the maximum concentration of nitrites reached  $17.5 \pm 0.8$  mg/l on the fifth day, whereas in the control without biodegrader  $24.3 \pm 1.5$  mg/l on the ninth day. This indicates a faster process of nitrification in the presence of microorganisms of the biodegrader introduced into the manure.

It was found that nitrates in liquid pig manure in the manure bath have a different accumulation dynamics than nitrites. In particular, the nitrate concentration in experimental manure increased intensively during five days to  $63.8 \pm 4.1$  mg/l, and in the control during nine days to  $77.4 \pm 4.8$  mg/l. Later their concentration decreased and on day 17 it was  $22.5 \pm 0.8$  mg/l in the experiment and almost two times higher ( $P < 0.05$ ) in the control –  $40.6 \pm 2.9$  mg/l. This indicates a faster denitrification process in manure with the biodegrader «Sanaero».

The use of the biodegrader significantly influenced the slowing of losses of total nitrogen through various microbiological and biochemical processes. In particular, on day 17 of manure bath filling, in manure with the biodegrader the total nitrogen concentration was  $805 \pm 41.7$  mg/l, which on average is 1.6 times ( $P < 0.05$ ) higher than in manure in the control –  $515 \pm 34.8$  mg/l.

It was found that microorganisms of the biodegrader reduce the pH of manure toward the acidic side to 5.87 units, thereby inhibiting the processes of nitrogen conversion into ammonia and reducing its emission into the environment.

Studies of changes in ammonia and hydrogen sulfide concentrations in pig house air during pig fattening when using the manure destruction preparation «Sanaero» showed the following tendency. The highest ammonia concentration in the air of boxes was recorded on day 9 in control samples –  $56.7 \pm 3.9$  mg/m<sup>3</sup>, and 2.1 times lower ( $25.8 \pm 1.7$  mg/m<sup>3</sup>) in premises where the biodegrader «Sanaero» was added to the manure bath.

Later a gradual decrease in ammonia concentration in control and experimental premises was observed. On day 17 ammonia content was  $25.1 \pm 1.6$  mg/m<sup>3</sup> in the control air and  $11.8 \pm 0.8$  mg/m<sup>3</sup> in the experimental air.

It was established that treatment of manure in pig houses with the biodegrader «Sanaero» allows reducing the formation of hydrogen sulfide in the air of boxes approximately 2–3 times compared with control boxes at an ambient temperature of +20 – +25 °C.

Thus, during the production use of the developed biodegrader «Sanaero», a significant positive correlation regarding the reduction of ammonia and hydrogen sulfide emissions into pig house air was observed compared with premises where the biodegrader was not used.

It was established that microorganisms of the biodegrader «Sanaero» act antagonistically in pig manure against *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus* cells. At the same time the content of *E. coli* decreased on average by two orders at the end of the production process of filling the underfloor manure bath, while *S. aureus* was completely inhibited. In addition, the amount of *E. coli* in manure in the experiment was on average 4 – 8 times lower than in the control.

The use of the biodegrader «Sanaero» in pig houses contributes to a significant reduction in the level of microbial contamination of air, in particular the number of MAFAnM and fungal microbiota. The effect is noticeable already on the fifth day of application of the biological preparation and persists throughout the entire period of filling the manure bath.

Thus, the use of the biodegrader «Sanaero» is an effective means of improving the sanitary condition of air in pig houses.

**Keywords:** pigs, biological preparation, antibiotic-resistant bacteria, *E. coli*, *S. aureus*, *Bacillus* spp., sanitary condition, hygienic indicators of microclimate, pig manure biodegrader, disinfection.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

**Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:**

**Статті у фахових наукових виданнях, включених до міжнародних наукометричних баз даних:**

1. **Grigorash, P. B., & Horiuk, Y. V.** (2024). Characterization of harmful gases and bioaerosols of pig farms: a review of the existing literature. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Veterinary Sciences*, 26(113), 24-29. <https://doi.org/10.32718/nvlvet11304> (Здобувач здійснив пошук джерел та провів написання статті).

2. **Григораш, П. Б., Горюк, Ю. В., Кухтин, М. Д., & Горюк, В. В.** (2025). Мікробіологічна оцінка біоаерозолі в боксах для відгодівлі свиней. *Podilian Bulletin Agriculture Engineering Economics*, (47), 42–51. <https://doi.org/10.37406/2706-9052-2025-2.6> (Здобувач визначив параметри мікроклімату на свинокомплексі та оформив статтю до друку).

3. **Grigorash, P. B., & Horiuk, Y. V.** (2025). The effect of the biodestructor Sanaero on the microflora of pig manure when filling an underfloor bath. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Veterinary Sciences*, 27(118), 189-196. <https://doi.org/10.32718/nvlvet11827> (Здобувач визначив мікробіологічні показники гною, описав їх та оформлював статтю до друку).

4. **Grigorash, P. B., & Horiuk, Y. V.** (2025). Sanitary condition of pig manure and microclimate in piggeries under treatment with the biodestructor Sanaero. *One Health Journal*, 3(V), 43–53. <https://doi.org/10.31073/onehealthjournal2025-v-05> (Здобувач визначив санітарні показники гною та мікроклімату на свинофермах, описав їх та оформив статтю до друку).

5. **Grigorash, P. B., & Horiuk, Y. V.** (2025). Microclimate parameter dynamics in pig housing using the biodestructor Sanaero. *Ukrainian Journal of Veterinary and Agricultural Sciences*, 8(2), 49-55. <https://doi.org/10.32718/ujvas8-2.09> (Здобувач дослідив зміну мікроклімату на свинокомплексі за використання біодеструктора, описав отримані результати та оформив статтю до друку).

6. **Grigorash, P. B.**, Horiuk, Y. V., Salata, V. Z., Prosyanyi, S. B., Perkiy, Y. B., & Motkalyuk, N. F. (2026). Characteristics of nitrogen transformation processes in pig manure during fattening with the use of the biodestructor Sanaero. *Ukrainian Journal of Veterinary and Agricultural Sciences*, 9(1), 40–46. <https://doi.org/10.32718/ujvas9-1.07> (Здобувач дослідив процеси трансформації азоту у свинячому гної за використання біодеструктора, провів обробку та аналіз експериментальних даних)

#### **Технічні умови України:**

7. **Григораш П. Б.**, Горюк Ю. В., Кухтин М. Д. Технічні умови ТУ У 21.2–22769675–001:2025 Біологічний препарат ветеринарний «САНАЕРО» (суспензія для зовнішнього застосування). Кам'янець-Подільський: ЗВО «ПДУ», 2025. 18 с. (Здобувач розробляв біологічний препарат, організовував і проводив експериментальні дослідження та оформлював технічні умови).

#### **Методичні рекомендації:**

8. **Григораш П. Б.**, Горюк Ю. В., Кухтин М. Д. Методичні рекомендації щодо використання біологічного препарату «Санаеро» для деструкції свинячого гною. Кам'янець-Подільський: ЗВО «ПДУ», 2025. – 26 с. (Здобувач проводив дослідження та оформлював методичні рекомендації).

#### **Матеріали і тези наукових конференцій та інші наукові видання, які додатково відображають наукові результати дисертації:**

9. **Григораш П.**, Горюк Ю. Методи боротьби з неприємними запахами в свинарстві. Зміна клімату та її наслідки для тваринництва і ветеринарної медицини: Наукові підходи та інноваційні рішення : Зб. матеріалів Міжнар. науково-практ. конф., м. Кам'янець-Подільський, 10 жовт. 2024 р. Одеса, 2024. С. 162–163.

10. **Григораш П. Б.**, Горюк Ю. В. Мікрофлора у складі біоаерозолів свиноферм. Актуальні питання ветеринарної медицини: реалії та перспективи: збірник тез доповідей Міжнар. наук.-практ. конф. науковців, викладачів та аспірантів, 22 травня 2024 р.; Держ. біотехнологічний ун-т. Харків, 2024. С. 27–28.

11. **Grigorash P.**, Horiuk Y. Modulation of pig manure microbiota and odor reduction using the biodestructor sanaero. Актуальні аспекти розвитку ветеринарної медицини в умовах євроінтеграції : матеріали III міжнар.наук.-практ. конф., м. Одеса, 16–17 жовт. 2025 р. Одеса, 2025. С. 62–65.

12. **Григораш П. Б.** Оцінка ефективності біодеструктора «Санаеро» щодо покращення мікробіологічних показників свинячого гною і мікроклімату приміщень. Вирішення сучасних проблем у ветеринарній медицині. Матеріали XI Всеукраїнської науково-практичної Інтернет-конференції, 17–18 лютого 2026 року м. Полтава. Полтава, ПДАУ, 2026. С. 102–103.

**ЗМІСТ**

<b>АНОТАЦІЯ</b>	<b>2</b>
<b>СПИСОК ПРАЦЬ, ОПУБЛІКОВАНИХ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ</b>	<b>13</b>
<b>ЗМІСТ</b>	<b>16</b>
<b>ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ І СКОРОЧЕНЬ</b>	<b>18</b>
<b>ВСТУП</b>	<b>19</b>
<b>РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ</b>	<b>25</b>
1.1. Проблема накопичення шкідливих газів та біоаерозолів на свинофермах	25
1.1.1. Загальна оцінка шкідливих газів мікроклімату на свинофермах	26
1.1.2. Значення біоаерозолу у приміщеннях тваринницьких ферм	29
1.2. Біоаерозоль як можливий шлях передачі антибіотикорезистентних мікроорганізмів та генів стійкості	31
1.3. Стратегії боротьби із неприємними запахами на свинофермах	35
1.4. Біодеструктори на основі мікроорганізмів для дезодорації гною на тваринницьких фермах	40
1.5. Висновки з огляду літератури	44
<b>РОЗДІЛ 2. ВИБІР НАПРЯМКІВ ДОСЛІДЖЕНЬ. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ</b>	<b>46</b>
<b>РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ВЛАСНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ</b>	<b>53</b>
3.1. Мікробіологічна характеристика біоаерозолу у босах для відгодівлі свиней	53
3.2. Актуальність та передумови щодо розробки біодеструктора для покращення показників мікроклімату на свинокомплексах	60
3.2.1. Обґрунтування та підбір мікроорганізмів для створення біологічного препарату для біодеструкції свинячого гною у гноєвій ванні	61

3.3. Характеристика процесів трансформації азоту у свинячому гної у гноєвій ванні під час відгодівлі свиней за використання біодеструктора «Санаеро» протягом року	67
3.4. Характеристика динаміки накопичення сірководню у повітрі свинарників за використання біодеструктора «Санаеро» під час наповнення гноєвої ванни протягом року	90
3.5. Характеристика мікробіологічного процесу в рідкому свинячому гної у під час наповнення гноєвої ванни за використання біодеструктора «Санаеро»	94
3.5.1. Оцінка мікробіоти рідкого свинячого гною під час наповнення гноєвої ванни за використання біодеструктора «Санаеро» при температурі навколишнього середовища + 20 – +25 °С	95
3.5.2. Оцінка мікробіоти рідкого свинячого гною під час наповнення гноєвої ванни за використання біодеструктора «Санаеро» при температурі навколишнього середовища + 15 – +17 °С	107
3.6. Вплив біодеструктора «Санаеро» на мікробіологічні показники мікроклімату у боксах для відгодівлі свиней	113
<b>РОЗДІЛ 4. АНАЛІЗ І УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ</b>	<b>117</b>
<b>ВИСНОВКИ</b>	<b>131</b>
<b>ПРОПОЗИЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ</b>	<b>134</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ЛІТЕРАТУРИ</b>	<b>135</b>
<b>ДОДАТКИ</b>	<b>159</b>

**ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ І СКОРОЧЕНЬ**

**БГКП** – бактерії групи кишкових паличок

**ВООЗ** – всесвітня організація охорони здоров'я

**ГДК** – гранично допустима концентрація

**КУО** – колонієутворюючі одиниці

**КПС** – коагулазопозитивні стафілококи

**ЛЖК** – леткі жирні кислоти

**МАФАНМ** – мезофільні аеробні та факультативно анаеробні мікроорганізми

**МВВ. НДЦБЕКРАПКДДАЕУ** – Міжгалузеві методичні вказівки України, які апробовані у науково-дослідному центрі з біобезпеки та екологічного контролю ресурсів АПК Дніпровського державного аграрно-економічного університету.

**МПА** – м'ясо-пептонний агар

**МПБ** – м'ясо-пептонний бульйон

**ЗБО** – загальне бактеріальне обсіяння

**MRSA** – метицилін резистентний золотистий стафілокок

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Зростання попиту на харчові продукти стимулює інтенсивний розвиток тваринництва, що спричинює негативний вплив на навколишнє середовище. У різних частинах світу тваринництво є висококонцентрованим, тобто збільшується кількість тварин, і, відповідно, зростає забруднення води, ґрунтів та атмосферного повітря. Свинарство відноситься до тваринницької галузі, яка суттєво впливає на екосистему через накопичення значної кількості відходів із неприємним запахом (Wang et al., 2018; Chmielowiec-Korzeniowska et al., 2018). Забруднювачі повітря, які утворюються на тваринницьких фермах можуть безпосередньо впливати на здоров'я тварин, працівників господарств та осіб, які проживають у навколишній місцевості (Chmielowiec-Korzeniowska et al., 2022; Buoi et al., 2023).

Поряд із забруднювачами хімічної природи на свинофермах формується динамічне середовище з асоційованими мікробними спільнотами, які мають природні резервуари серед компонентів цієї екосистеми (Brouček & Čermák, 2015; Forcada & Abecia, 2019). Через різноманіття мікроорганізмів в такому середовищі застосування належних гігієнічних практик, рекомендованих Європейським та українським законодавством, не завжди гарантує належні санітарно-гігієнічні умови.

Біоаерозолі на свинофермах є важливою біологічною частиною у повітрі та включають бактерії, гриби, віруси, ендотоксини (Chmielowiec-Korzeniowska et al., 2018; Douglas et al., 2018; Song et al., 2021). Біоаерозолі які забруднюють повітря, здатні викликати алергію, онкологічні, респіраторні та інфекційні захворювання як у людей, так і тварин (McEachran et al., 2015; Gladding et al., 2020; Sigsgaard et al., 2020). Серед мікроорганізмів, що переносяться повітрям, багато видів нині ідентифіковано як патогени (Alonso et al., 2015; Liu et al., 2023). Тому розуміння формування хімічного й мікробіологічного складу біоаерозолу на свинофермах має важливе значення для розроблення і впровадження різних профілактичних заходів щодо зменшення розповсюдження неприємних запахів та патогенних мікроорганізмів. Оскільки в закритих

приміщеннях висока концентрація бактерій, яка виникає внаслідок аерозоляції фекалій, кормів, фрагментів шкіри під час переміщення тварин є досить небезпечною (Arfken et al., 2015).

В Україні відсутні стандарти щодо нормування кількості мікроорганізмів у повітрі свинарників, хоча існує багато даних про небезпечність високого рівня мікроорганізмів для здоров'я людей, які професійно займаються тваринництвом (Chen et al., 2019; Vai et al., 2022). Водночас, згідно нормативних документів Інституту сільського здоров'я в Любліні (Польща) для робочого середовища, яке забруднене органічним пилом рекомендується, щоб кількість МАФАНМ не перевищувала  $2 \times 10^5$  КУО/м<sup>3</sup>, грамнегативних бактерій –  $2 \times 10^4$  КУО/м<sup>3</sup> і грибів – до  $5 \times 10^4$  КУО/м<sup>3</sup> (Krzysztofik, 1992). Перевищення даних значень збільшує ризик потенційних шкідливих наслідків у працівників, які зазнають впливу.

Також аналітичні дані повідомляють (Matusiak et al., 2016; Duan et al., 2020), що неповна анаеробна біодеградація тваринного гною (суміш фекалій, сечі, залишків кормів та води) генерує газоподібні забруднюючі речовини, які впливають на якість життя, безпеку людини та здоров'я тварин. Запахи, що виходять із великих свиноферм є дуже неприємні для людей, які живуть поблизу (Borowski et al., 2017; Wysocka et al., 2019). Встановлено, що запах, який виходить із свиноферм є складною сумішшю газів, що складається з понад 160 хімічних компонентів, і в основному включає сполуки сірки, аміак і летючі аміни, а також індоли та леткі жирні кислоти (Conn et al., 2007; Yan et al., 2013). Ці гази можуть викликати подразнення дихальних шляхів, алергію, астму, підвищену сприйнятливість до інфекційних захворювань, дратівливість, стрес, хронічні головні болі, нудоту, млявість і багато іншого в осіб, які піддаються тривалому впливу (Zeng et al., 2015; Li et al., 2024).

Літературні дані вказують на перспективність застосування біодеструкторів у технологіях зберігання та обробки органічних відходів тваринництва з метою оптимізації азотного балансу. Таке регулювання дозволяє не лише зменшити потенційне екологічне навантаження на навколишнє середовище, а й підвищити агрономічну цінність гною як добрива за рахунок зменшення нітритного навантаження та стабілізації інших форм азоту.

Отже, розробка екологічно чистих, безпечних для навколишнього середовища, організму продуктивних тварин, працівників ферм та населення навколишніх територій, біологічних препаратів, які впливають на формування шкідливих газів на свинокомплексах є актуальним завданням науковців багатьох галузей.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційну роботу виконано у Закладі вищої освіти «Подільський державний університет» протягом 2023 – 2025 р. на кафедрі ветеринарного акушерства, внутрішньої патології та хірургії за ініціативною тематикою «Розробка нових антимікробних препаратів і засобів для профілактики і лікування хвороб тварин та дезінфекції у ветеринарній медицині» (0122U200511).

**Мета і задачі досліджень.** Метою роботи було теоретично обґрунтувати та експериментально розробити й визначити ефективність біологічного препарату для біодеструкції свинячого гною у підпідлоговій гноєвій ванні.

Для досягнення поставленої мети необхідно було виконати наступні завдання:

- провести кількісну і якісну оцінку мікробіологічного складу біоаерозолі у босах для відгодівлі свиней для розробки стратегій щодо покращення умов мікроклімату ферми;
- обґрунтувати та підібрати мікроорганізми для створення біологічного препарату для біодеструкції свинячого гною у підпідлоговій гноєвій ванні;
- розробити технологію виробництва біологічного препарату на основі мікроорганізмів для біодеструкції свинячого гною у підпідлоговій гноєвій ванні;
- вивчити процеси трансформації азоту у свинячому гної у гноєвій ванні під час відгодівлі свиней за використання біодеструктора «Санаеро»;
- визначити показники концентрації аміаку у повітрі свинарників за використання біодеструктора «Санаеро»;
- визначити динаміку накопичення сірководню у повітрі свинарників за використання біодеструктора «Санаеро» під час наповнення підпідлогової гноєвої ванни протягом року;

– визначити кількісні зміни мікробіоти рідкого свинячого гною під час наповнення гноєвої ванни за використання біодеструктора «Санаеро» за різної температури навколишнього середовища.

*Об'єкт дослідження:* мікроорганізми, свинячий гній у гноєвій ванні, параметри мікроклімату у свинарниках, біодеструкція гною, розробка препарату біодеструктора.

*Предмет досліджень:* мікробіологічні та гігієнічні показники мікроклімату у свинарниках, процеси трансформації азоту свинячого гною у гноєвій ванні, ефективність біодеструктора «Санаеро» у гноєвій ванні.

**Методи досліджень:** гігієнічні (концентрація аміаку, сірководню, МАФАНМ у повітрі свинарників), мікробіологічні (кількість *P. fluorescens*, *Bacillus* spp., *L. plantarum*, *Clostridium* spp., *Saccharomyces* spp., *E. coli*, *S. aureus* та *Salmonella* spp. у гної), фізико-хімічні (рН гною, концентрація амонію, аміаку, нітритів, нітратів, загального азоту у гної) та статистичні.

**Наукова новизна одержаних результатів.** Вперше експериментально обґрунтовано розробку нового біологічного препарату для біодеструкції свинячого гною у гноєвій ванні шляхом симбіотичного поєднання наступних мікроорганізмів: *Bacillus subtilis*, *Bacillus licheniformis*, *L. plantarum*, *P. fluorescens*, *S. cerevisiae*, *Azotobacter chroococcum*, *Cellulomonas* spp.. Встановлено, що препарат-біодеструктор «Санаеро» ефективно впливає на зменшення в 1,5 – 2,1 раза ( $P < 0,05$ ) виділення із гною газоподібного аміаку та в 2 – 3 рази ( $P < 0,05$ ) сірководню у повітря, тобто покращує мікроклімат у приміщенні та знижує їх токсичне навантаження на тварин та навколишнє середовище. Це дозволяє покращити санітарний стан приміщень, зменшити запах та шкідливі викиди.

Доведено, що застосування біодеструктора «Санаеро» під час наповнення гноєвої ванни свинячим гноєм сприяє активному розвитку пробіотичних мікроорганізмів, зокрема *Bacillus* spp., *Lactobacillus* spp. та *Pseudomonas* spp., *Saccharomyces* spp., кількість яких суттєво зростає вже з 2–5 доби, досягаючи експоненційного рівня ( $10^6$  –  $10^7$  КУО/г) на 9–17 доби. Одночасно спостерігається зниження чисельності шкідливих *Clostridium* spp. на 1 – 1,5

порядки, у порівнянні з контролем, умовно-патогенних бактерій (*E. coli*, *S. aureus*), що вказує на антагоністичний вплив пробіотичної мікрофлори біодеструктора.

Експериментально обґрунтовано ефективний режим застосування біодеструктора «Санаеро» на свинофермах шляхом додавання у гноєві ванни 1 л приготовленого робочого розчину приблизно на 1 м<sup>3</sup> рідкого свинячого гною. Через сім діб повторно вносимо препарат із таким самим розрахунком, і так протягом усього періоду наповнення гноєвої ванни.

**Практичне значення отриманих результатів.** Опираючись на аналітичні дані та результати лабораторних досліджень щодо трансформації азоту у свинячому гної під час наповнення гноєвої ванни, підібрано мікроорганізми, перспективні для виготовлення препаратів біодекструкторів. Отримані результати дозволяють практично використовувати розроблену технологічну блок-схему виробництва біологічного препарату на основі мікс-культур мікроорганізмів для біодеструкції свинячого гною у гноєвій ванні, яка включає операції від приготування живильних середовищ для культивування мікроорганізмів до приготування робочого розчину у виробничих умовах.

Дослідження щодо активності внесених мікроорганізмів біодеструктора «Санаеро» у гній протягом наповнення гноєвої ванни виявили ефективний вплив їх на зменшення накопичення аміаку й сірководню у повітрі свинарників, пригнічення розвитку клостридіальної й умовно-патогенної мікрофлори, що відображено у методичних рекомендаціях щодо використання біологічного препарату «Санаеро» для деструкції свинячого гною, які затверджено на засіданні науково-методичної ради ЗВО «ПДУ», протокол №10 від 30.10.2025 року.

На підставі експериментальних даних досліджень запропоновано біологічний препарат «Санаеро» ТУ У 21.2–22769675–001:2025, деструктор свинячого гною.

**Особистий внесок здобувача.** Здобувач ступеня доктора філософії самостійно провів огляд та аналіз наявної сучасної наукової літератури, підібрав та практично опрацював методи досліджень, склав схему проведення дослідів,

провів лабораторні та виробничі дослідження на фермах. Розробив спосіб, режими та встановив робочу концентрацію щодо застосування біологічного препарату «Санаеро» для біодеструкції свинячого гною, провів статистичну обробку даних. У дисертації використано ідеї та положення особистої роботи здобувача та опубліковано їх в наукових працях у співавторстві. За участю наукового керівника д-ра вет. наук, доцента Горюк Ю.В. здійснено узагальнення результатів досліджень, написання висновків і пропозицій.

**Апробація результатів дисертаційних досліджень.** Основні результати досліджень доповідались, обговорювалися та отримали схвалення на засіданнях кафедри ветеринарного акушерства, внутрішньої патології та хірургії, вченої ради факультету ветеринарної медицини і технологій у тваринництві ЗВО «ПДУ» та на конференціях і семінарах: Міжнародній науково-практичній конференції «Зміна клімату та її наслідки для тваринництва і ветеринарної медицини: Наукові підходи та інноваційні рішення» (Кам'янець-Подільський, 2024); Міжнародній науково-практичній конференції науковців, викладачів та аспірантів: «Актуальні питання ветеринарної медицини: реалії та перспективи» (Харків, 2024); III Міжнародній науково-практичній конференції «Актуальні аспекти розвитку ветеринарної медицини в умовах євроінтеграції» (Одеса, 2025); XI Всеукраїнській науково-практичній інтернет-конференції «Вирішення сучасних проблем у ветеринарній медицині» (Полтава, 2026).

**Публікації.** За матеріалами дисертації опубліковано 10 друкованих наукових праць, із них 6 статей у фахових виданнях України категорії Б, 4 праці – у матеріалах конференцій, розроблено і затверджено технічні умови України та методичні рекомендації.

**Структура і обсяг роботи.** Дисертаційна робота викладена на 167 сторінках комп'ютерного тексту, ілюстрована 9 таблицями, 29 рисунками і складається зі анотації, вступу, огляду літератури, матеріалів та методів досліджень, результатів досліджень, аналізу та узагальнення результатів досліджень, висновків, пропозицій виробництву, списку використаних джерел, додатків. Список використаної літератури включає 214 джерел, з яких 190 – латиницею та 5 додатків.

## РОЗДІЛ 1

### ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

#### 1.1. Проблема накопичення шкідливих газів та біоаерозолів на свинофермах

Серед споживачів у всіх частинах світу зростає інтерес до споживання високоцінної свинини, позиціонованої з точки зору добробуту тварин (Krystallis et al., 2012; Reshetnyk et al., 2016). Концепція щодо добробуту тварин займає провідне місце в громадському обговоренні. Все частіше врегулювання норм для захисту тварин виноситься на перший план та розробляються нові протоколи вирощування (Martinez & von Nolting, 2023).

Основна мета концепції добробуту тварин – це зменшення стресу, поліпшення умов утримання, збереження та/або збільшення продуктивності (Browning, 2019). Забезпечення цього можливе не лише шляхом контролю захворюваності та якості кормів, а й налагодження показників мікроклімату. Не лише температура, швидкість руху повітря, відносна вологість відіграють важливу роль, а й концентрація шкідливих газів та пилу значною мірою впливають на добробут та продуктивність тварин. Дослідження описують шкідливий вплив забрудненого повітря на людей та тварин. Дані, представлені (Banhazi et al., 2022; Ткачук & Врадій, 2024), свідчать про високу частоту виникнення респіраторних та серцево-судинних хвороб у працівників ферм.

На жаль, нині немає повного визначення оптимальних параметрів середовища свиноферм. Згідно з рекомендаціями (Banhazi & Rutley, 2013; Бойко, 2022) існують контрольні межі рівнів шкідливих газів для уникнення небезпечних для здоров'я людей концентрацій.

Однак, при встановленні порогових концентрацій різних забруднювачів не враховано особливостей їхньої взаємодії в повітрі, що може чинити негативний вплив на організм тварин. Розроблені раніше рекомендації щодо контролю шкідливих газів не враховували взаємодії інших забруднювачів повітря, таких як пил, тверді часточки, мікроорганізми, віруси тощо.

Таким чином виникає необхідність проаналізувати літературні дані щодо поширення та взаємодії шкідливих газів та мікроорганізмів у середовищі свиноферм та за їх межами для удосконалення стратегій поліпшення мікроклімату шляхом корекції мікробіоти та розробки біопрепаратів, здатних нейтралізувати запахи та дезінфікувати тваринницькі приміщення.

### **1.1.1 Загальна оцінка шкідливих газів мікроклімату на свинофермах**

Ключовим напрямом сталого розвитку у XXI столітті є оцінка та зменшення впливу на навколишнє середовище виробництва, зокрема і продукції тваринництва, та при цьому задоволення підвищеного попиту на м'ясні продукти (ЕС, 2020; FAO, 2022). Незважаючи на зусилля щодо скорочення використання м'ясної сировини в більшості розвинених країн як з екологічних причин, так і з міркувань здоров'я, споживання м'яса в усьому світі постійно зростає. Свинина є одним з найбільш затребуваних на ринку видів м'яса, на яку припадає близько 40 % світового споживання (González et al., 2020).

Вирощування тварин супроводжується багатьма екологічними проблемами (Koul et al., 2022). Інтенсивне свинарство зазвичай зосереджено у великих виробничих одиницях, що значно збільшує ризики забруднення повітря, води та ґрунту (Banhazi & Rutley, 2013; Panchasara et al., 2021). За даними (Lusk et al., 2022), переробна промисловість спричинює близько 26 % викидів парникових газів, при цьому третина викидів цих газів припадає на м'ясну промисловість. Вплив свинарства на навколишнє середовище може бути прямим (наприклад, зберігання та утилізація гною) або непрямим (наприклад, виготовлення кормів) (Shafiullah et al., 2020; Михалко, 2021).

У законодавстві ЄС описано вимоги щодо температури в свинарниках, відносної вологості, циркуляції повітря, концентрації газів, які є нешкідливими для тварин. Проте жодних обмежень відносно їхньої кількості не зазначено. Також існують протоколи щодо покращення добробуту тварин, проте вони використовуються для системи добровільної сертифікації (Buoi et al., 2023).

Основним забруднювачем в свинарстві є гній, з якого можуть виділятися та поширюватися шкідливі гази, тверді часточки, мікроорганізми та їх похідні (Donham, 2000; Никифоруk, 2014; Costa, 2017).

Газоподібні стоки можуть походити безпосередньо від самих свиней, при розкладанні гною та впливати на атмосферу, довкілля, здоров'я обслуговуючого персоналу і тварин у приміщенні (Vechi et al., 2022; Мирончук & Пеленьо 2022).

Найпоширенішими газоподібними сполуками, що викидаються свинарськими фермами, є аміак ( $\text{NH}_3$ ), вуглекислий газ ( $\text{CO}_2$ ), метан ( $\text{CH}_4$ ), оксид азоту ( $\text{N}_2\text{O}$ ), сірководень ( $\text{H}_2\text{S}$ ) (Banhazi & Rutley, 2013; Cardador et al., 2020; Брошак та ін. 2020). У таблиці 1.1 наведено можливі наслідки впливу різних забруднюючих речовин у низьких концентраціях на здоров'я тварин.

*Таблиця 1.1*

**Вплив на здоров'я тварин газоподібних забруднювачів (Vertora et al., 2008)**

Забруднювач	Наслідки впливу
Аміак	Запалення очей та/або дихальних шляхів, анорексія, подразнення слизових оболонок дихальних шляхів, зниження імунітету, специфічні захворювання.
Вуглекислий газ	Пришвидшене дихання, утруднене дихання, можливе запаморочення, втрата свідомості.
Сірководень	Запалення очей та/або дихальної системи, порушення нюху, анорексія, нудота та діарея
Пил	Подразнення дихальної системи та очей, вдихувана фракція (<5 мкм) може поєднуватися зі шкідливими забруднювачами та утворювати вторинні тверді частинки.

Вуглекислий газ є парниковим газом і утворюється в основному при диханні тварин, які вдихають повітря, що містить 0,035 %  $\text{CO}_2$ , і видихають його з вмістом 5 %  $\text{CO}_2$  (Пінчук & Бородай 2019). Вироблення вуглекислого газу тваринами залежить від виду, маси тіла та раціону. Значно менше його виробляється внаслідок розпаду органічних речовин, що містяться в гної. Крім того, наявність підстилки також може сприяти утворенню  $\text{CO}_2$  (Hamon et al., 2012).

Аміак є найбільш вивченим забруднювачем у тваринництві. Він утворюється внаслідок біологічного розкладання азотистих органічних речовин (сечовини та сечової кислоти), що містяться в сечі та калі. У більшості країн гранично допустима концентрація (ГДК)  $\text{NH}_3$  в свинарниках становить 25  $\text{mg}/\text{m}^3$ . Проте рекомендовані максимальні межі можуть коливаються від 7 до 25  $\text{mg}/\text{m}^3$  залежно від країни та часу впливу (Bertora et al., 2008; Takai & Vanhazi, 2018). Підвищені високі концентрації  $\text{NH}_3$  чинять важливий вплив на ріст та продуктивність тварин, оскільки споживання корму та ефективність перетравлення поживних речовин знижуються. Вміст аміаку в повітрі може призвести до респіраторних захворювань, таких як кашель, риніт і навіть пневмонія.

Аміак, який виділяється в атмосферу, викликає підкислення ґрунтів і води та є попередником аерозолу в тропосфері. Однак на відміну від  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  та  $\text{N}_2\text{O}$  він не вважається парниковим газом. Згідно з міжнародними вимогами (EU 2016/2284, 2016) багато країн впровадило національні програми щодо скорочення викидів  $\text{NH}_3$  та парникових газів. Проте видалення  $\text{CH}_4$  та  $\text{N}_2\text{O}$  ще не є обов'язковим.

Зазвичай сірководень не належить до шкідливих газів приміщень, оскільки він утворюється в результаті анаеробного зброджування гною (Takai & Vanhazi, 2018). Проте, значне накопичення  $\text{H}_2\text{S}$  у приміщеннях для тварин може спричинити запалення дихальної системи, подразнення слизових оболонок, зниження апетиту тощо. Випадки отруєння або смерті тварин, спричинені цим газом, зазвичай пов'язані з близькістю резервуарів для зберігання гною або з

несвоєчасним видаленням гною з ферм, де тварин утримують на решітчастій підлозі (Bertora et al., 2008; Buoi et al., 2023).

З метою зменшення викидів шкідливих газів на свинофермах широко застосовують різноманітні установки, в тому числі хімічні скрубери, біоскрубери та біофільтри. Однак літературні дані свідчать, що ефективність видалення  $\text{NH}_3$  не завжди висока. На додаток до цього – біологічне очищення аміаку може сприяти утворенню вторинних забруднювачів, наприклад  $\text{N}_2\text{O}$ , що здатний посилювати парниковий ефект (Bertora et al., 2008; Палапа & Устименко, 2024).

Результати огляду літератури та її аналізу увійшли у наукову статтю: **Grigorash, P. B., & Horiuk, Y. V. (2024).** Characterization of harmful gases and bioaerosols of pig farms: a review of the existing literature. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Veterinary Sciences*, 26(113), 24-29. <https://doi.org/10.32718/nvlvet11304>

### 1.1.2 Значення біоаерозолі у приміщеннях тваринницьких ферм

Поряд зі спостереженням за шкідливими газами, важливим є контроль викиду з тваринницьких приміщень твердих часточок та пилу, які можуть утворювати аерозолі. У свинарниках аерозолі можуть утворюватися як з неорганічних, так і з органічних джерел. В основному, це корми та підстилка, меншою мірою від тварин (часточки шкіри, волосяного покриву) та гною. Однак, як і аміак, хронічний вплив високої концентрації пилу може призвести до таких захворювань, як астма, бронхіт, хронічний кашель (Bertora et al., 2008; Takai & Vanhazi, 2018).

Аерозолі (біоаерозолі) свиноферм можуть містити велику кількість бактерій, грибків, вірусів, спор, метаболітів, генів резистентності тощо (Mocherniuk et al., 2022). Дослідженнями встановлено, що великі аерозольні частинки в повітрі свиноферми можуть затримуватися понад 5 с на висоті 1,5 м (Wang et al., 2021), а гени резистентності в повітрі можуть поширюватися з потоком вітру на відстань до 10 км, збільшуючи можливість інфікування людей і тварин (Bai et al., 2022). Дослідники часто повідомляють про підвищення концентрації грибів, бактерій (в тому числі золотистого стафілококу),

ендотоксинів у приміщеннях свиноферм (Gladding et al., 2020). Крім того, високий рівень концентрації мікроорганізмів виявляли і на відстані 250 м від території ферм. Це викликає занепокоєння через можливість зараження повітряно-крапельним шляхом, розвитком респіраторних інфекцій та порушенням функцій легень (Kraemer et al., 2019; Tang et al., 2022). Було виявлено, що біоаерозолі зі свиноферм здатні індукувати активацію неспецифічної імунної відповіді, спричинювати різні запальні реакції дихальних шляхів (Liu et al., 2019).

Відомо, що основними складовими біоаерозолів на свинофермах є бактерії (Tang et al., 2022). Вміст мікроорганізмів коливається в середньому від  $10^4$  до  $10^6$  КУО/м<sup>3</sup>. Дані показники перевищують порогові норми ( $10^4$  КУО/м<sup>3</sup>), визначені для житлових і непромислових приміщень у більшості країн Європи (Noblet et al., 2022).

Склад мікрофлори біоаерозолів може різнитися між собою залежно від географічного положення, клімату, пори року, типу свинарників, режиму годівлі та утримання тварин (Mocherniuk et al., 2022). Проте багато дослідників виявили, що переважаюча кількість мікроорганізмів представлена відділом бактерій *Firmicutes* (близько 62 %) та *Bacteroidetes* (< 7 %) (Liu et al., 2019; Tang et al., 2022). Іншими вченими показано, що в складі біоаерозолу свиноферми були бактерії *Proteobacteria*, які виявляли в кількості від 39,61 % до 90,39 %, *Actinobacteria* (1,16 – 20,61 %), *Bacteroidetes* (4,56 – 17,06 %) та *Firmicutes* (0,97 – 20,61 %) (Chen et al., 2021). Спільноти бактерій на тій самій фермі також відрізнялися. Наприклад, дослідник (Yan et al., 2021) виявив, що рід *Acinetobacter* переважав у приміщенні, де утримувалися відлучені поросята та тварини на відгодівлі, тимчасом як *Psychrobacter* і *Rothia* найчастіше виділялися у приміщеннях для утримання супоросних свиноматок та секторах для опоросу. Групою інших вчених виявлено, що низка бактерій *Clostridiales* є найпоширенішими в приміщенні для відгодівлі та опоросу, тоді як *Lactobacillus* переважили в приміщенні для відлучених тварин (De Rodas et al., 2018).

Вищезгадані типи бактерій, які входили до складу біоаерозолів свиноферм, виявляли і в офісних та житлових приміщеннях поблизу комплексів (Mocherniuk

et al., 2022). Дослідження показали, що до складу біоаерозолів офісних приміщень входили ті ж *Proteobacteria* (55,2 %), *Firmicutes* (24,4 %) та *Bacteroidetes* (4,1 %) (Hong et al., 2012). Схожі дослідження, проведені (Bai et al., 2022), також підтверджують, що в офісних приміщеннях переважають типи бактерій *Firmicutes* і *Proteobacteria*. Важливим показником небезпеки біоаерозолів є вміст в них патогенних мікроорганізмів. Окремі дослідження показують, що вміст потенційно небезпечних бактерій у складі біоаерозолу може сягати до 40 % (Rodríguez de Evgrafov et al., 2013).

Отже, біоаерозолі у тваринницьких приміщеннях становлять значну небезпеку для обслуговуючого персоналу та тварин, що вимагає запровадження активних систем для запобігання надмірного накопичення у закритих середовищах.

## **1.2. Біоаерозоль як можливий шлях передачі антибіотикорезистентних мікроорганізмів та генів стійкості**

Резистентність до антибіотиків є однією з найбільших загроз здоров'ю людини та тварин у всьому світі (Akoglu, 2018; Li, et al., 2018; Salata et al., 2018; Horiuk et al., 2018). Повітряно-крапельний шлях передачі генів стійкості до антибіотиків та резистентних бактерій в навколишньому середовищі представляє собою один з важливих механізмів поширення, якому приділяється мало уваги (Zhu et al., 2021; Mocherniuk et al., 2023). Глобальні дослідження показали наявність різних генів стійкості у бактерій, наявних в атмосферному повітрі (Li et al., 2018; Leung et al., 2021; Danko et al., 2021). До того ж варто зазначити, що вдихуване повітря зазвичай не піддається жодній обробці порівняно з іншими шляхами можливого потрапляння мікроорганізмів в організм тварин і людей (Huijbers et al., 2015; Xie et al., 2018). Тому для розуміння поширеності антибіотикостійких генів бактерій у навколишньому середовищі, слід приділити більше уваги джерелам стійкості до антибіотиків у повітрі та забрудненню.

Вважається, що широке використання антибіотиків і ветеринарних протимікробних препаратів на свинофермах призвело до виявлення великої

кількості антибіотикорезистентних мікроорганізмів у повітрі цих ферм (Bai et al., 2022). Понад 70 % антибіотиків, що продаються у світі, призначені для тварин (Van Voeckel et al., 2019). Наприклад, у Китаї було використано 162 000 тонн антибіотиків, з яких 84 240 тонн було використано для тварин (Zhang et al., 2015). При цьому, лише близько 15 % антибіотиків метаболізується та всмоктується (Pei et al., 2019), згодом залишкові кількості антибіотиків виводяться в навколишнє середовище разом із сечею та фекаліями, що може сприяти появі генів стійкості до антибіотиків у тваринництві (Horiuk et al., 2019; Garkavenko et al., 2021; Wang & Chen, 2022; Kukhtyn et al., 2022).

Зокрема повідомляється, що мікроорганізми, які переносять гени стійкості, що утворюються на кормових майданчиках для худоби, можуть поширюватися за вітром (McEachran et al., 2015). Це продемонстровано у дослідженнях, які показали, що біоаерозоль є важливим шляхом поширення генів стійкості до антибіотиків на свинофермах (Song et al., 2021). Дослідники виявили, що мікробіота сільськогосподарського пилу містить велику різноманітність генів стійкості до антибіотиків (Luiken et al., 2020). У приміщеннях для тварин (свинарниках, пташниках, корівниках) було виявлено велику кількість патогенних штамів, стійких до антибіотиків, що передаються через біоаерозоль (Chen et al., 2019). Багато досліджень підтвердили зв'язок стійкості до антибіотиків між сільськогосподарськими тваринами та фермерами (Yao et al., 2011; Dohmen et al., 2017; Vestergaard et al., 2018). До того ж зазначається, що повітря у приміщеннях для тварин значно забруднене стійкими до ліків бактеріями та зоонозними патогенами (Kukhtyn et al., 2017; Vestergaard et al., 2018; Горюк та ін. 2018). Проте є мало досліджень, які б показували потенційні схеми розсіювання та відстань поширення бактерій, які несуть гени стійкості до антимікробних препаратів та передаються через повітря від цих тваринних ферм.

Оскільки галузь свинарства характеризується інтенсивними технологіями, які не можуть обійтися без значного використання антибіотиків, то й зростає кількість наукових доказів про те, що свиноферми є одним із потужних біотопів для формування мікробіоценозів із бактеріями стійкими до антибіотиків (Looft et al., 2012; Коцюмбас та ін., 2014; Савченко та ін., 2017; Тарасов та ін., 2020).

Дійсно, повсюдна поява та поширення антибіотикорезистентних бактерій була зареєстрована у свинячих фекаліях у багатьох країнах (Yan et al., 2024; Scicchitano et al., 2024; Tong et al., 2024). Наприклад, (Zhu et al. 2021) виявили 149 унікальних антибіотикорезистентних патогенів у свинячих фекаліях та зразках компосту. На тваринницьких фермах антибіотикостійкі штами мікроорганізмів у фекаліях можуть не тільки потрапляти в навколишнє середовище через сільськогосподарські добрива (Chen et al., 2019; Чемеровська & Рубленко 2022), але й спричиняти появу та поширення цих бактерій через біоаерозоль, та випаровування фекалій у повітря (McEachran et al., 2015). Для контролю якості мікроклімату тваринницьких приміщень важливо вивчати внесок передачі фекальних бактерій у біоаерозоль. Більшість патогенів, що передаються через повітря, є бактеріями, стійкими до багатьох лікарських засобів, які можуть безпосередньо спричиняти інфекції через дихальні шляхи та контакт зі шкірою (Wang et al., 2020; Stetsko, 2021; Gao et al., 2023).

Повідомляється, що метицилінрезистентний *Staphylococcus aureus* (MRSA) є одним із часто ідентифікованих резистентних мікроорганізмів у повітрі свиноферм (Гаркавенко & Козицька, 2016; Kraemer et al., 2019; Дудар та ін., 2023). Крім того, (Gibbs et al., 2006) показали, що *Staphylococcus aureus* і *Salmonella* spp. всередині свинарників були стійкі до препаратів ампіциліну, еритроміцину, окситетрацикліну, пеніциліну, тетрацикліну, тилозину. Також на свинофермах виявляли високі концентрації генів стійкості до антибіотиків у повітрі та мобільні генетичні елементи (Tian et al., 2021). Вченими визначено, що приблизно 63 – 73 % резистому в складі пилу походить від аерозолізації морд тварин, а решта відповідно з інших частин тіла тварин та субстратів, присутніх на фермі (інструменти, корм тощо) (Luiken et al., 2020).

Результати досліджень (Vai, et al., 2022; Xin et al., 2022; Xu et al., 2022) повідомляють, що тваринницькі ферми є важливим джерелом антибіотикорезистентних бактерій та бактеріальних патогенів у повітрі сільськогосподарських середовищ, і вони можуть переноситися на великі відстані в навколишнє атмосферне середовище. Зокрема, у повітрі птахогосподарств було виявлено значно більшу кількість різноманітних

антибіотикорезистентних бактерій, що передаються через повітря, ніж на молочній фермі, що демонструє різні моделі розсіювання між двома фермами. Варто зазначити, що в повітрі птахоферми було виявлено клінічно важливі ізоляти *Staphylococcus* spp., стійкі до багатьох антибіотиків, причому понад 80 % цих ізолятів несли ген *mecA* (Luiken et al., 2022). Для працівників ферм та жителів навколишніх районів вдихання таких бактерій разом із повітрям вважається прямим шляхом впливу, що вказує на значні ризики для здоров'я, які пов'язані з впливом аерозолі (Vai, et al., 2022). Водночас, прямих доказів зараження людей антибіотикорезистентними контамінантами через повітря від тваринницьких ферм на даний час недостатньо. Це підкреслює необхідність подальших досліджень, щоб зрозуміти вплив на людину та ризики для здоров'я, пов'язані з діяльністю тваринництва.

Гриби на свинофермах є важливою частиною мікробної популяції біоаерозолів, проте складають невелику частку порівняно з бактеріями (Sowiak et al., 2011). Концентрація грибів у повітрі на свинофермах переважно коливалась від  $10^2$  до  $5 \times 10^3$  КУО/м<sup>3</sup>. Більшість досліджень підтверджують наявність у складі повітря родів *Aspergillus*, *Scopulariopsis*, *Penicillium* і *Cladosporium* (Viegas et al., 2013). Загалом респірабельні грибки можуть складати до 70 % від загальної їх кількості в повітрі, що становить серйозну загрозу для здоров'я обслуговуючого персоналу (Viegas et al., 2013).

Нині наявна досить обмежена кількість повідомлень про вміст вірусів у складі біоаерозолів на фермах через складність їх виділення. Проте було підтверджено, що різні віруси можуть передаватися через повітря та інфікувати свиней, у тому числі вірус ящуру (Alexandersen et al., 2003), вірус репродуктивного та респіраторного синдрому свиней (Alonso et al., 2020), вірус епідемічної діареї свиней, тощо (Jung et al., 2020).

Отже, з аналізу прослідковується, що тваринницькі ферми є важливим джерелом антибіотикорезистентних бактерій та бактеріальних патогенів у повітрі сільськогосподарських середовищ, і вони можуть переноситися на великі відстані в навколишнє атмосферне середовище. У повітрі різних ферм було

виявлено велику кількість різноманітних антибіотикорезистентних бактерій, що передаються через біоаерозольний шлях, що демонструє можливість розсіювання патогенів у навколишньому середовищі. Варто зазначити, що в повітрі ферм було виявлено клінічно важливі для гуманної медицини ізоляти *Staphylococcus* spp., стійкі до багатьох антибіотиків, причому понад 80% цих ізолятів несли ген *mecA* (Bai et al., 2022). Для працівників та місцевих жителів вдихання бактерій, що передаються через повітря, несе ризики для здоров'я. Очевидно, ще потрібні подальші дослідження, щоб зрозуміти вплив на людину та ризики для здоров'я, які пов'язані з біоаерозолем, через розвиток висококонцентрованого промислового тваринництва.

### **1.3. Стратегії боротьби із неприємними запахами на свинофермах**

Зі швидким розвитком тваринницької галузі в світі велика кількість екскрементів худоби та птиці стала основним джерелом забруднення навколишнього середовища (He, et al., 2023). Робота кожної тваринницької ферми пов'язана з утворенням неприємних запахів, що створює суттєві проблеми для місцевої громади (Wang et al., 2021; Cao et al., 2023; Matusiak et al., 2016). Тверді відходи, що утворюються тваринницькою та птахівницькою галуззю, можуть суттєво впливати на щоденне виробництво та життя людей. Природа неприємних запахів головним чином пов'язана через розкладання тваринних фекалій, стічних вод, підстилки, корму та газів, що виділяються з травного тракту худоби (Mariuzza et al., 2022; Gutarowska et al., 2014). Наразі стандартні методи контролю запахів передбачають використання різних технологій, які можна класифікувати, як фізичні, хімічні та біологічні (Deng et al., 2023).

В останні роки переробка фекалій худоби стала серйозною проблемою не тільки в Україні, а й в світі загалом (Скляр, 2020, Wang et al., 2023; Song et al., 2023). Компостування є одним з найперспективніших методів біологічної обробки гною на фермах, оскільки воно є низьковитратним, може обробляти відходи різних компонентів та виробляти стабільні органічні добрива (Wang et al., 2021). Хоча компостування може сприяти управлінню відходами та їх

перетравленню, воно неминуче виділяє забруднювачі атмосфери, такі як сірчисті з'єднання, леткі аміни, індоли, феноли та леткі жирні кислоти (ЛЖК) (Andraskar et al., 2021). Такі гази, як аміак, сірководень та ЛЖК є основними компонентами запаху від компостування фекалій худоби та птиці (Andraskar et al., 2021; Cao et al., 2023). Сірководень та аміак є подразнювальними газами, зокрема перший утворюється в результаті мікробного розкладання летких сполук сірки та має низький нюховий поріг. Сірководень є дуже потужним нейротоксином, який може паралізувати нюхові нерви та спричинити офтальміт і запалення дихальних шляхів у людей і тварин (Jaber et al., 2017). Стандарт викидів сірководню становить  $0,33\text{--}21 \text{ кг}\cdot\text{год}^{-1}$  (Deng et al., 2023). Дослідники зауважують, що такі бактерії, як *Hydrogenispora*, *Desulfovibrio* та *Acinetobacter* беруть участь у зменшенні сірководню під час компостування свинячого гною (Li et al., 2020; Zheng et al., 2022).

Аміак в основному виробляється бактеріями, що розкладають азотовмісні органічні речовини на переважно на термофільній стадії, а його концентрація становить  $> 49 \%$  від кількості пахучих речовин (Zheng et al., 2022). Аміак, як і сірководень, також є шкідливим та може подразнювати слизову оболонку тварин ( $120\text{--}210 \text{ мг}\cdot\text{м}^{-3}$ ), викликаючи при цьому запалення (Jiang et al., 2018; Jung et al., 2022). Дослідники (Zheng et al. 2022) повідомляли, що розвиток мікробних спільнот родів *Clostridia*, *Bacillus* та родини *Pseudomonadaceae* негативно корелюють з утворенням аміаку у гної. На додаток до сірководню й аміаку, ЛЖК також є основними речовинами, що формують запах під час ферментації гною від худоби та птиці (Awasthi et al. 2019; Zheng et al. 2022). Ці дослідники повідомили, що ЛЖК мають низькі нюхові пороги ( $0,1\text{--}50 \text{ мг}/\text{м}^3$ ), що вказує на те, що низькі концентрації створюють сильні запахи. Водночас ЛЖК можуть засвоюватися мікробними спільнотами як джерело вуглецю, а домінуючі мікробні спільноти, які приймають участь в цьому процесі належать до родини *Acidimicrobiales* (Andraskar et al., 2021). Високі концентрації ЛЖК у повітрі приміщень можуть не тільки знижувати імунітет та продуктивність худоби і птиці, але й становити небезпеку для людей, які проживають поблизу, через поширення запаху (Jaber et al., 2017). Тому очищення від забруднення з

неприємним запахом на тваринницьких та птахофермах стало нагальною проблемою, яку необхідно вирішити.

У багатьох дослідженнях для усунення забруднення із неприємним запахом використовуються різні способи з таких природних компонентів, як біовугілля (Awasthi et al., 2018), глини (Awasthi et al., 2019), кварцового піску (Jiang et al., 2021) та мікробної дезодорації (Li et al., 2021, Matusiak et al., 2016). Серед цих існуючих способів мікробна дезодорація є найперспективнішим методом очищення від забруднення із запахом завдяки своїй безпеці, тривалому ефекту дезодорації, невеликій кількості використання та низькій ціні (Thomas et al., 2017). Переваги використання функціональних мікроорганізмів підвищує родючість органічного добрива та змінює склад місцевих мікробних спільнот під час процесу ферментації (Li et al., 2019; Shi et al., 2020; Li et al., 2020). Тому під час розробки біологічних препаратів-деструкторів гною вивчення засвоєння та перенесення сірководню, аміаку та ЛЖК функціональними мікроорганізмами є важливим для встановлення їх ефективності. Повідомляється, що *Lactobacillus paracasei* має позитивний ефект зниження рівня аміаку у свинячих фекаліях (Zheng et al. 2022). Інші вчені (Chen et al. 2016) вказують, що складні спільноти бактерій видів *Pseudomonas fluorescens*, *Enterococcus faecium*, *Bacillus subtilis* та *Bacillus megaterium* вважаються ефективними якщо вони здатні видаляти сірководень зі свинячих фекалій, приблизно на 41 – 62 %. Gutarowska et al. (2014) інокулювали активні мікроорганізми, які були іммобілізовані на мінеральних носіях у свинячі фекалії та спостерігали високу ефективність щодо видалення аміаку та сірководню на 54,80 та 63,70 %, відповідно. Зокрема вказується, що мікробний препарат може знижувати рН відходів, оскільки він утворює органічні кислоти, що може спричинити зниження гідролізу сечовини та сечової кислоти. При цьому ЛЖК – це переважно сполуки з неприємним запахом, що утворюються внаслідок неповного перетравлення або недостатнього використання поживних речовин у кормах, які виключаються худобою та птицею (Rincon et al., 2019; Li et al., 2024). Недавні дослідження повідомили, що підвищення рН під час ферментації може пригнічувати мікробний гідроліз продуктів ферментації, що призводить до зниження концентрації ЛЖК (Li et al.,

2020; Lin and Li, 2018, Ma et al., 2016). Однак зниження концентрації ЛЖК під час ферментації досягається, головним чином, шляхом коригування фізичних та хімічних параметрів ферментації (Ma et al., 2021). Водночас, сучасні дослідження в основному зосереджені на впливі мікробних інокулянтів на склад та послідовність мікробних спільнот під час процесу компостування. Небагато досліджень було зосереджено на селективному культивуванні бактеріальних дезодорантів, отриманих зі свинячих фекалій для зменшення вмісту ЛЖК. Наприклад, деякі дослідження повідомляють, що домінуючими бактеріями під час ферментації гною були *Firmicutes*, *Proteobacteria*, *Actinobacteria* та *Bacteroidetes* (Ren et al., 2016; Li et al., 2021; Wang et al., 2021a; You et al., 2021). До того ж дослідники Zhang et al. 2021 виявили, що додавання мікробно-опосередкованих інокулянтів сприяє відновленню фосфору та знижує екологічну токсичність продуктів ферментації. Інша група дослідників (Shi et al. 2019) повідомили, що інокуляція штучно вирощених бактерій *Bacillus licheniformis* у бобових осадах та неочищеному гліцерині може досягти низького рівня виробництва ЛЖК. Крім того, вказується, що мікробні інокулянти можуть збільшити чисельність та різноманітність бактеріальних спільнот у гної за ферментації, причому роди *Bacillus*, *Sphingobacterium* та *Saccharomyces* spp. вважаються домінуючими бактеріальними спільнотами (Chen et al., 2016). Хоча було проведено численні експерименти для вивчення впливу мікробних інокулянтів на компостування, мало хто досліджував вплив бактеріальних дезодорантів на сукцесію бактеріальних спільнот та основні механізми видалення азоту та сірки. Водночас на сьогоднішній день науковцями чітко визначено, що мікробна дезодорація – це нова стратегія зменшення запаху у фекаліях худоби та птиці (Zheng et al. 2022). Оскільки мікроорганізми проявляють високу ефективність у десульфуризації та видаленні аміаку (Li et al. 2024), проте на нашу думку активність їх може бути інтенсивно виражена тільки у випадку правильної комбінації мікробних штамів з врахуванням умов та субстрату, що піддається ферментації.

Наразі у науковій літературі та на практиці застосовуються декілька стратегій боротьби з неприємними запахами під час промислового вирощування

тварин. Так, дослідники стверджують, що виробництво кормів для годівлі свиней є найбільшим фактором впливу на навколишнє середовище у свинарстві (Dogsa-Preda et al., 2021). У зв'язку з цим було розроблено безліч альтернативних методів годівлі та склади раціонів, спрямованих на зменшення забруднення навколишнього середовища (Pierer et al., 2016). Інші вчені підкреслюють необхідність розробки стратегій щодо знезараження та використання гною. Так, широко використовують підкислення гною та його анаеробне зброджування для виробництва електроенергії та тепла (Cherubini et al., 2015). Важливим при веденні свинарства є рівень ізоляції приміщення та встановлення клімат-контролю у середині (Santonja et al., 2017).

Вчені (Wysocka et al., 2019) у своїй публікації описують методи, які спрямовані на запобігання утворенню запахових речовин на тваринницьких фермах. Зокрема, автори пропонують аналіз і контроль процесів, де можуть з'являтися запахи: оптимізація параметрів виробництва, використання реагентів, герметизація обладнання та ретельний моніторинг джерел запаху. За їхніми даними активні методи дезодорації структуруються за такими технологічними підходами:

а) *адсорбція* – використання твердофазних носіїв таких, як активоване вугілля, цеоліти для вилучення газових запахів із потоку. Розглянуто конструкції фільтрів, їх ефективність та обмеження (перенасичення, вартість регенерації);

б) *абсорбція* – пропонуються абсорбери у вигляді спрею, насипні, барботажні колони, досліджується вплив конструкції, рН середовища, хімічного складу на ефективність видалення та утилізацію забруднення;

в) *окиснення*, яке розрізняють: – термічне спалювання – висока температура для руйнування запахових сполук; – каталітичне окиснення – використання каталізаторів для ефективнішого окиснення при нижчих температурах.

г) *біофільтрація* – одне з пріоритетних рішень в екологічному контексті: повітря пропускають через шар біологічного середовища (грунт, компост), де мікроорганізми розкладають органічні запахи. Саме на біофільтрації автори акцентують свою увагу, як екологічно стійкому рішенні.

Також за даними цих авторів (Wysocka et al., 2019) пропонуються критерії для відбору кожної конкретної технології, яка залежить від чисельних факторів: складу і концентрації неприємних запахових речовин; об'єму потоків газів; економічній доцільності (інвестиції, вартість експлуатації) застосованих технологій; можливості забезпечення екологічних й гігієнічних нормативів, технічного рівня доступності та умов експлуатації впроваджених технологій.

Отже, як бачимо використання даних стратегій залежить, в основному, від економічних можливостей ферми та системи ведення тваринництва окремої країни (Pexas et al., 2020). Деякі з них все ще потребують випробувань або перевірки у виробничих умовах, а інші важко впровадити на вже існуючих фермах. Крім того, рідко враховуються взаємодія шкідливих газів, пилу, твердих часточок та мікроорганізмів, що може підсилювати токсичний вплив один одного на організм тварин.

#### **1.4. Біодеструктори на основі мікроорганізмів для дезодорації гною на тваринницьких фермах**

Біодеструктори – це мікробіологічні препарати, які містять ферменти або живі мікроорганізми, здатні розкладати органічні речовини у гної. (Matusiak et al., 2016) Їхнє застосування у свинарстві має позитивний вплив саме на рідку фазу свинячого гною, яка становить значну частину загального об'єму (до 90 %) (Loof et al., 2012).

Бактерії *Acinetobacter* spp., *Arthrobacter* spp. і *Alcaligenes* spp. були використані (Rappert і Müller 2005) для розкладання амінів і летких жирних кислот, тоді як сірчані бактерії *Thiobacillus* spp. застосовувалися для обробки летких сполук сірки (Visscher і Taylor 1993; Hartikainen et al., 2001). Higa & Parr (1994) зробили проривне відкриття, довівши, що різні групи мікроорганізмів можуть співіснувати, що призводить до сприятливих змін навколишнього середовища в напрямку зменшення концентрації запаху. Це дало початок дослідженням біопрепаратів, що складаються з консорціуму мікроорганізмів та/або ферментів.

Біопрепарати мають багато переваг, оскільки вони безпечні у використанні та не викликають корозії, вони зменшують надмірний ріст мікробів та можуть адсорбувати сполуки важких металів. Біопрепарати, на відміну від інших методів дезодорації, набувають все більшої популярності, оскільки для їх застосування не потрібно спеціального обладнання (Matusiak et al., 2016). Зазвичай випускають їх у вигляді порошку розміром частинок, наприклад, 20 – 160 мкм, 0,5 – 1,5 мм, 5,0 – 7,0 мм, переважно сіро-бежевого кольору, або у вигляді суспензій мікробних культур. Важливо також, що мікробні препарати впливають на гігієнізацію тваринницьких приміщень, зменшують кількість патогенних організмів, які сприяють не лише утворенню запахів, а й можуть викликати захворювання тварин і людей (Borowski et al., 2010; Gutarowska et al., 2014).

Цікаві практичні результати були отримані українськими вченими під час застосування для дезодорації гною у підпідлогових ваннах за допомогою біологічного препарату – деструкторів «Комплезім» та антибактеріального «Дезодорай» (Maslov et al., 2023). У складі біодеструктора «Комплезім» наявні наступні мікроорганізми: *Bacillus subtilis* та *B. licheniformis*, а також ензими мікробного походження. У складі «Дезодорай» наявні такі компоненти: хлорантоїн (хлорвмісна біоцидна речовина); мідний купорос (також має антисептичну дію); кальцію сульфат та цинку сульфат (як адсорбенти); ефірні олії та ароматизатори для швидкого покращення й усунення запаху. Дослідження показали, що біопрепарат «Комплезім» виявився дуже ефективним відносно утилізації неприємних запахів за додавання його у підпідлогові ванни для накопичення гною. Автори (Maslov et al., 2023) стверджують, що додавання цього біодеструктора до гною у підпідлогову ванну, а також до гною на відкритому повітрі в місцях його складання, прискорює утилізацію гною приблизно до двох разів швидше, ніж у традиційній системі утилізації гною.

На ринку наявні ще наступні біологічні препарати, які містять мікроорганізми для утилізації неприємних запахів: «Тамір», «Sviteco-MBT», «Водограй» «Чистий хлів», «Біоферм», «Destruk-S», «EM-BIO», «Biogen», «Microcat-Bio», які у більшості випадків є закордонного походження.

У дослідженнях (Zeng et al., 2015; Ma et al., 2021b) повідомляється, що дезодоруючою здатністю відносно тваринного гною володіють мікроорганізми, які були ідентифіковані як *Bacillus megaterium*, *Lactobacillus acidophilus* та *Alcaligenes faecalis* відповідно. При цьому коефіцієнт змішаної інокуляції становив 1 : 1,5 : 0,5, відповідно, а коефіцієнти видалення аміаку та сірководню становили 83,56 % та 70,25 % відповідно. Однак не всі штами мають однакову ферментативну активність, так штам *Lactobacillus plantarum* був скринінгований та виділений (Kim et al., 2006) із зразків свинарського мулу, забезпечував видалення аміаку максимум 98,5 % після 50 годин інкубації. Складний мікробний дезодорант, який був виготовлений з *Bacillus megaterium*, *Candida tropicalis* та *Streptomyces griseus*, міг видалити понад 80 % запаху курячого, свинячого та коров'ячого гною, а також понад 65 % сірководню (Ye et al., 2008). Це показало, що мікроорганізми можуть ефективно видаляти неприємний смердючий газ, що утворюється з посліду худоби та птиці. Однак, вищезгадане дослідження зосереджувалося лише на управлінні смердючим газом після його утворення, а мікробним агентам наразі потрібен дуже тривалий час для боротьби з газом, тому необхідно проводити скринінг мікроорганізмів, які можуть ефективно пригнічувати утворення неприємного газу в субстраті, добре його адсорбувати та швидко трансформувати у кінцевому підсумку.

Інтенсивність виділення неприємних газів з фекалій худоби та птиці залежить від багатьох чинників, водночас температура має найактивніший вплив на розвиток мікроорганізмів і скеровує мікробіологічний процес у русло, яке може змінити формування запахів. За даними (Ma et al., 2021b) *B. licheniformis*, *P. denitrificans* та *S. cerevisiae* мали беззаперечний вплив на пригнічення утворення запаху у тваринних екскрементах. Швидкість відновлення *B. licheniformis* щодо аміаку та сірководню становила 85,81 % та 99,29 %, відповідно. Швидкість відновлення аміаку та сірководню *P. denitrificans* становила 80,25 % та 82,80 %, відповідно. Порівняно з іншими штамми *S. cerevisiae* мав значніший вплив на видалення летких газів зі швидкістю зниження 27,7 %. Автори (Ma et al., 2021b) прийшли до висновку, що *P. kudriavzevii*, *P. denitrificans* та *B. subtilis* можуть бути використані як ефективні штами, що поглинають та трансформують неприємні

гази. Швидкість відновлення аміаку та сірководню *P. kudriavzevii* становила 85,91 % та 89,79 % відповідно, *B. subtilis* мала сильну здатність розкласти газоподібний сірководень, а швидкість відновлення аміаку та сірководню становила 69,69 % та 90,80 %, відповідно. Інтенсивність відновлення аміаку та сірководню *P. denitrificans* становила 68,03 % та 81,48 %, відповідно.

У інших дослідженнях зазначається, що серед різноманітних неприємних газів, які утворюються під час компостування гною, аміак є одним із найважливіших (Zhou et al., 2019). Під час компостування аміак є найбільш концентрованим запахом (Bernal et al., 2009), а його концентрація може досягати наднормативних значень (Skodra et al., 2025). До того ж, спостерігалася значна позитивна кореляція між кількістю виділеного аміаку та концентрацією інших неприємних сполук під час компостування (Nakhshiniev et al., 2014; Chakravorty et al., 2025). Тому концентрація аміаку часто використовується для вимірювання та наявності інших виділених неприємних запахів. Також, випаровування аміаку призводить до втрати азоту, що впливає на поживність компосту (Pagans et al., 2006). Sánchez та ін. (2015) показали, що випаровування аміаку під час компостування є основною причиною втрати азоту в купах і становить понад 90% загальних втрат. Нарешті, окрім запаху, аміак також каталізує утворення кислотних дощів (Shen et al., 2016; Meng et al., 2016), що спричиняє несприятливі наслідки, такі як скорочення терміну служби компостного обладнання. Тому скорочення викидів аміаку в процесі компостування є дуже важливим. Вирішення цього важливого завдання можливо шляхом додавання мікроорганізмів, які здатні утилізувати амоній іншим механізмом. Зокрема, за даними (Mi et al., 2019) бактерії *Bacillus stearothermophilus*, *Bacillus subtilis* і *Candida utilis* мають потенціал для зменшення викидів аміаку під час компостування гною. Однак через складність мікробної популяції в гноєвому субстраті часто важко цим видам мікроорганізмів стати домінуючими, особливо у випадку наявності у гної залишкових кількостей антибактеріальних речовин (Sánchez et al., 2017). Втім, коли штами мікроорганізмів поєднуються між собою за принципом синергізму і біохімічних знань щодо їх впливу на компоненти субстрату, вони мають більшу здатність адаптуватися до гноєвого середовища,

ніж коли додається один мікроорганізм. У такому випадку їм легше стати домінуючими штамми, що дозволяє добре демонструвати свою ефективність (Lim et al., 2015). У цьому контексті мікроорганізми видів *Bacillus* spp. і *C. utilis*, очевидно мають бути присутні у препаратах – біодеструкторах для утилізації неприємних газів у гнойових відходах. Це підтверджується експериментами (Zhou et al., 2019), що у дослідних пробах гною, у які інокулювали штамми *B. stearothermophilus*, *B. subtilis* і *C. utilis* відмічали нижчі концентрації викиду аміаку, порівнюючи з контрольними без цих мікроорганізмів. Це пояснювалося перетворенням амонійного азоту в нітратний азот, а вище зазначені штамми мікроорганізмів сприяли цьому. Іншою причиною нижчих викидів аміаку в дослідних пробах гною може бути те, у ньому інтенсивніше розвиваються бактерії, що окиснюють аміак. Тому автори (Zhou et al., 2019) цього дослідження пропонують вирішувати проблему запаху під час компостування гною шляхом контамінації його активними штамми бактерій, які наведені вище.

Отже, дослідження цього підрозділу підтверджують загальноновизнаний у біотехнології факт, що активність мікробного штаму має суттєвий вплив на біодеструкцію того чи іншого субстрату.

### 1.5. Висновки з огляду літератури

Отже, інтенсивне свинарство призводить до утворення великої кількості гною, що створює серйозну екологічну проблему. Так, завдяки вмісту в гної великої кількості Азоту, Фосфору, Калію та інших важливих елементів, його використовують як добриво для ґрунту. Однак виробництво та переробка гною часто призводить до викиду забруднюючих речовин не лише у приміщенні свиноферми, а й за її межами. Зокрема, утворення газів та розмноження патогенної мікрофлори значно забруднює середовище. Тому концентрацію газоподібних забруднювачів необхідно чітко контролювати та намагатися зменшувати їх кількість. Поряд з цим, із гноєм може поширюватися низка патогенних мікроорганізмів, таких як *Salmonella choleraesuis* var. *typhi*, *Mycoplasma* spp., *Staphylococcus aureus*, *Listeria monocytogenes*, *Streptococcus*

*spp.*, *Candida albicans*, *Cryptococcus neoformans* тощо. Це підкреслює необхідність впровадження нових стратегій щодо поліпшення умов мікроклімату шляхом пошуку та розробки біопрепаратів, які містять природні бактерії, здатні нейтралізувати запахи та дезінфікувати тваринницькі приміщення. Застосування мікроорганізмів для зменшення концентрації аміаку, сірководню у мікрокліматі тваринницьких приміщень є прогресивним та екологічним рішенням, що дозволяє зменшити вплив розвитку тваринництва на навколишнє середовище.

## РОЗДІЛ 2

### ВИБІР НАПРЯМІВ ДОСЛІДЖЕНЬ. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Виконання дисертаційної роботи проводилось у Закладі вищої освіти «Подільський державний університет» на кафедрі ветеринарного акушерства, внутрішньої патології та хірургії, факультету ветеринарної медицини протягом 2023 – 2025 років.

Виробничі дослідження проводилися у господарствах з відгодівлі свиней ПП «Аграрна компанія 2004» та ТОВ «АСКЕРА», Хмельницька область. Частина лабораторних досліджень було проведено у науково-дослідному центрі з біобезпеки та екологічного контролю ресурсів АПК Дніпровського державного аграрно-економічного університету.

Основна ідея наукового дослідження полягала в оцінці мікробіологічного складу біоаерозолі у босах для відгодівлі свиней для розробки стратегій щодо покращення умов мікроклімату ферми, підборі мікроорганізмів та розробці біологічного препарату для біодеструкції свинячого гною у гноєвій ванні, з подальшим експериментальним обґрунтуванням впливу біодеструктора на фізико-хімічні й мікробіологічні показники гною й параметрів мікроклімату у приміщеннях свинарників.

Для успішної реалізації поставленої мети й запланованих завдань виконання експериментальної частини роботи було розділено на п'ять етапів, які схематично відображено на рис. 2.1.

**Перший етап.** «Мікробіологічна характеристика мікроклімату у приміщеннях для відгодівлі свиней протягом року». У господарствах свиней утримують на решітчастій підлозі у приміщенні на 850 голів, яке розділено на бокси на 50 голів, у кожному боксі було по 25 – 30 голів свиней. Дослідження проведено у приміщеннях з відгодівлі свиней з 76 по 160 добу. У даних свинарниках встановлена сучасна автоматизована система забезпечення оптимальних показників мікроклімату Big Dutchman, яка контролює такі

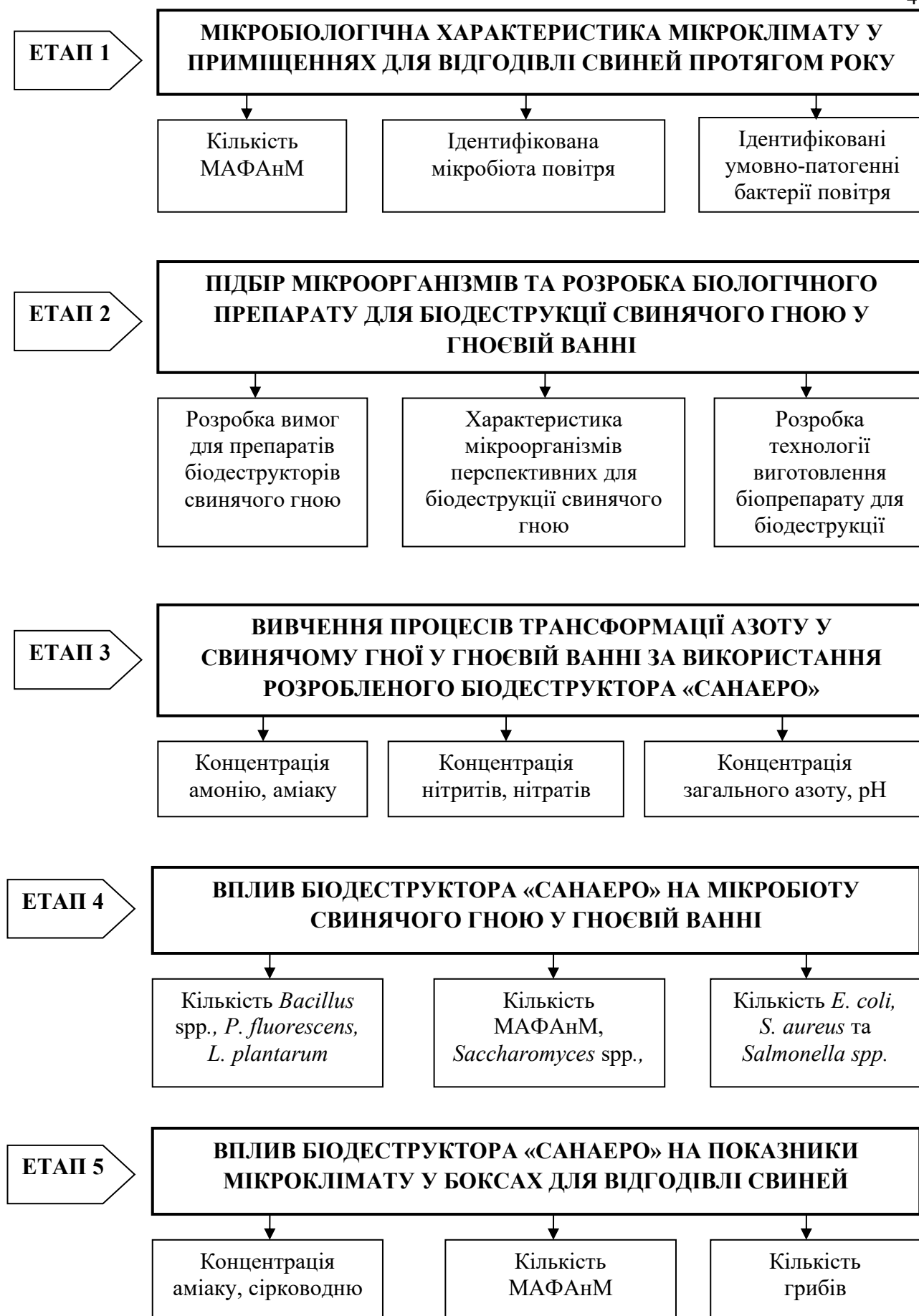


Рис. 2.1. Схема проведення досліджень за етапами

показники, в залежності від кількості голів у приміщенні, вологість, температуру, швидкість руху повітря, притоки вентиляції.

Дослідження повітря у боксах для відгодівлі свиней проводили загально визнаним седиментаційним методом «способом конверта». Для цього підготовлені чашки Петрі з селективними середовищами для виділення різних видів бактерій розставляли на висоті 1 м від підлоги (чотири чашки по кутах, а п'ята в центрі). Після 30 хв експозиції чашки Петрі закривали кришками та ставили в сумку-холодильник і доставляли у мікробіологічну лабораторію ветеринарного факультету протягом 2 год для дослідження. Визначення кількості МАФАНМ у біоаерозолі свинарників проводили на м'ясопептонному агарі (МПА), стафілококи і мікрококи – на кров'яному агарі з 5 % крові і 7 % натрію хлориду, коринебактерії і стрептококи – на кров'яному агарі та *Streptococcus Selective Agar*, лактобацили – на *MRS*-середовищі, виділення псевдомонад проводили на ацетамідному середовищі, інші неферментуючі бактерії (*Acinetobacter spp.* та *Alcaligenes spp.*) – на МПА за інкубації чашок при температурі +10 °С – 7 діб, ентеробактерії на Ендо-середовищі, гриби – на Сабуро-середовищі (HiMedia, India). Час і температуру інкубації чашок з посівами обирали з врахуванням оптимальної біохімічної активності для кожного виду мікроорганізмів (Кухтин та Кравченко, 2023; Kukhtyn et al., 2018). Ідентифікацію ізольованих культур мікроорганізмів проводили за мікроскопічною картиною та метаболічною активністю, використовуючи комерційні АРІ тести (bioMerieux, Польща).

**Другий етап.** «Підбір мікроорганізмів та розробка біологічного препарату для біодеструкції свинячого гною у гноєвій ванні». У роботі використано наступні музейні штами бактерій: *Bacillus subtilis* ATCC 6633, *Bacillus licheniformis* штам *G* та виділені й ідентифіковані з різних об'єктів культури мікроорганізмів *L. plantarum*, *P. fluorescens*, *S. cerevisiae*, *Azotobacter chroococcum* та *Cellulomonas spp.*

Для виділення та ідентифікації із ґрунту *Azotobacter chroococcum* використовували класичне середовище Ешбі (Корнійчук та ін., 2018).

Виділення та ідентифікацію *Cellulomonas* spp. проводили на середовищі з карбоксиметилцелюлозою наступного складу: карбоксиметилцелюлоза – 10,0 г;  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  – 1,0 г;  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  – 1,0 г;  $\text{MgSO}_4$  – 0,5 г;  $\text{NaCl}$  – 0,5 г; агар мікробіологічний – 1,5 г та вода дистильована до 1000 мл, рН – 7,0. Після інкубації до середовища дають Конго червоний або розчин Люголя для виявлення зони гідролізу целюлози навколо колоній (Bagnara et al., 1985; Kang et al., 2007).

Для культивування та нарощування мікробних клітин використовували наступні середовища. МПБ для *Bacillus subtilis* ATCC 6633, *Bacillus licheniformis* штам G, *Azotobacter chroococcum* та *P. fluorescens*; MRS для *L. plantarum*; бульйон Сабуро для *S. cerevisiae*; МПБ з карбоксиметилцелюлозою для *Cellulomonas* spp.

**Третій етап.** «Вивчення процесів трансформації азоту у свинячому гної у гноєвій ванні за використання розробленого біодеструктора «Санаеро».

Схема досліду була наступна. На трьох свинофермах з відгодівлі свиней з 76 по 160 добу, які входять у компанію ПП "Аграрна компанія 2004" відібрано по два приміщення. У одному приміщенні до гноєвої ванни додавали розроблений нами біодекструктор «Санаеро» – дослідні приміщення; у другому – до гноєвої ванни нічого не додавали – контрольні. У всіх приміщеннях свиней утримують на решітчастій підлозі у боксах по 25 – 30 голів. Під кожним боксом наявна гноєва ванна, яку очищають від гною кожні 17 – 20 діб. Відбирання проб (гною) для дослідження з гноєвої ванни у дослідних та контрольних приміщеннях проводили на 2, 5, 9, 13 та 17 доби від початку її заповнення. Проби з льодом відправляли у лабораторію для визначали вмісту продуктів розпаду органічних речовин (амонію, аміаку, нітритів, нітратів, загального азоту, рН).

Концентрацію аміаку та амонію у гної визначали за МВВ. НДЦБЕКРАПКДДАЕУ 7.2-38-В (Міжгалузевими методичними вказівками України, які наявні у науково-дослідному центрі з біобезпеки та екологічного контролю ресурсів АПК Дніпровського державного аграрно-економічного університету).

Концентрацію нітритів у гної визначали за МВВ. НДЦБЕКРАПКДДАЕУ 7.2-44-В; нітратів за МВВ. НДЦБЕКРАПКДДАЕУ 7.2-44-В.

Концентрацію загального азоту у гної визначали за ДСТУ 7911:2015 Добрива органічні та органо-мінеральні. Методи визначення сумарної масової частки азоту та масової частки амонійного азоту (ДСТУ 7911:2015).

Кислотність (рН) гною визначали за ДСТУ 4077:2001 Якість води (ДСТУ 4077:2001), визначення рН (ISO 10523:1994, MOD) за допомогою рН-метра (рН-150 МИ), виробник ТОВ «Мікрохім», Україна.

**Четвертий етап.** «Вплив біодеструктора «Санаеро» на мікробіоту свинячого гною у гноєвій ванні». Як і в попередньому етапі відбирання проб (гною) для дослідження з гноєвої ванни у дослідних та контрольних приміщеннях проводили одночасно як і в попередньому етапі, тобто на 2, 5, 9, 13 та 17 доби від початку її заповнення. Проби гною з льодом відправляли у лабораторію для визначення ЗБО (загальне бактеріальне обсіяння (МАФАНМ)), *Bacillus* spp., *L. plantarum*, *P. fluorescens*, *Clostridium* spp., *Saccharomyces* spp., *E. coli*, *S. aureus* та *Salmonella* spp..

ЗБО гною визначали класичним мікробіологічним методом шляхом проведення десятикратних розведень, посів їх в чашки Петрі та заливання розплавленим й охолодженим МПА. Проби інкубували протягом 72 год за температури  $+ 30 \pm 0,5$  °С, після чого підраховували кількість утворених колоній (КУО) на один г гною (ДСТУ ISO 4833:2006).

Бактерії роду *Bacillus* визначали шляхом посіву десятикратних розведень проб гною на МПА. Розведення попередньо піддавалися прогріванню у пробірках за температури  $+ 85 - + 85$  °С протягом 15 хв. Інкубацію посівів проводили за  $+ 37 \pm 1$  °С протягом 24 год.

Аналогічно проводили посів проб гною для визначення бактерій *Clostridium* spp., водночас культивування проб (чашок Петрі із засіяним матеріалом) проводили в анаеробних умовах в аеростаті (Schuett-biotec, Німеччина).

Для визначення молочнокислих бактерій десятикратні розведення гною висівали на середовище MRS, інкубували посів протягом 48 год за температури

+ 30 ± 1 °C згідно ДСТУ ISO 15214:2007 (ДСТУ ISO 15214:2007). Для подальшої ідентифікації молочнокислих бактерій, а саме *L. plantarum* застосовували MALDI TOF).

Для кількісного визначення *P. fluorescens* у зразках гною попередньо підготовлені десятикратні розведення висівали на селективне середовище для псевдоманад із добавкою для пригнічення супутньої мікрофлори, *Pseudomonas* Agar Base з добавкою CFC (Cephaloridine-Fucidin-Cetrimide) (HiMedia, Індія). Інкубація за температури + 21 ± 1 °C протягом 72 годин, *P. fluorescens* росте з характерною жовто-зеленою флуоресценцією під УФ-лампю (365 нм).

Для виділення та підрахунку кількості дріжджової мікробіоти використовували середовище Сабуро з антибіотиком хлорамфеніколом. Для цього десятикратні розведення гною висівали на щільне середовище, інкубували протягом 3 – 5 діб за температури + 28 ± 1 °C.

Для кількісної ізоляції золотистого стафілококу десятикратні розведення гною висівали на середовище Байд-Паркер агар, інкубували протягом 24 – 48 год за температури + 37 ± 1 °C. Колонії золотистого стафілококу на цьому середовищі мають вигляд золотистих з чорним центром.

Кишкову паличку виділяли аналогічно, але використовували середовище Ендо, на якому вона утворює характерні малинові колонії з металічним блиском.

Для виділення сальмонел із гною використовували наступну схему. Відбирали 25 г гною та вносили його у 225 мл стерильного буферного лептонного бульйону для попереднього збагачення. Перемішували та інкубували протягом 18 – 24 год за температури + 37 ± 1 °C. Після попереднього збагачення проводили пересів у селективне середовище – Selenite Cystine бульйон та інкубували протягом 18 – 24 год за температури + 37 ± 1 °C. Після цього проводили пересів на тверде диференційно-діагностичне середовище XLD (Xylose Lisine Deoxycholate агар) з наступною інкубацією протягом 18 – 24 год за температури + 37 ± 1 °C. *Salmonella* на цьому середовищі утворюють прозорі, безбарвні або з чорним центрами колонії (внаслідок продукування H<sub>2</sub>S).

**Етап п'ятий.** «Вплив біодекструктора «Санаеро» на показники мікроклімату у боксах для відгодівлі свиней». Визначення МАФАНМ та

грибкової мікробіоти у пробах повітря у приміщеннях, у яких застосовували біодеструктор «Санаеро» за наповнення гноєвої ванни та у контрольних – проводили за методиками, які описано у першому етапі цього розділу. Дослідження повітря у боксах для відгодівлі свиней проводили загально визнаним седиментаційним методом «способом конверта».

Концентрацію аміаку у повітрі свинарників у визначені нами періоди досліджували за допомогою універсального газоаналізатору хімічного типу УГ-2. Даний прилад працює на основі хімічної абсорбції газів реагентами в спеціальних індикаторних трубках. Повітря через прилад проходить із постійною швидкістю і газ – аміак реагує з реагентом. Наявний індикатор змінює колір (довжина знебарвленої зони) за якою визначають концентрацію аміаку. За шкалою, наявною на трубці або таблиці, переводили результат у  $\text{мг/м}^3$ .

За допомогою УГ-2 визначали також концентрацію сірководню у повітрі свинарників, але для цього використовували індикаторні трубки для сірководню.

Отримані експериментальні дані піддавалися статистичній обробці за допомогою спеціальної комп'ютерної програми Statistica 9.0. Визначали значення середнього арифметичного ( $m$ ), стандартну похибку ( $M \pm m$ ) середньої величини. Достовірність отриманих даних оцінювали за F-критерієм з довірчим рівнем  $P < 0,05$ ,  $P < 0,01$ ,  $P < 0,001$  (з урахуванням корекції Бонферроні).

## РОЗДІЛ 3

### РЕЗУЛЬТАТИ ВЛАСНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 3.1. Мікробіологічна характеристика біоаерозолі у босах для відгодівлі свиней

Промислове висококонцентроване свинарство в Україні активно розвивається, а дослідження щодо показників мікроклімату у приміщеннях є досить обмеженими. Існує наукова потреба у визначенні мікробіологічних загроз та розробці профілактичних заходів щодо забезпечення належного гігієнічного та епідеміологічного стану фермерського середовища та запобігання значного викиду біоаерозолів в атмосферне повітря. У зв'язку з цим було проведено мікробіологічну оцінку біоаерозолі у босах для відгодівлі свиней для розробки стратегій щодо покращення умов мікроклімату ферми.

Для того, щоб всебічно охарактеризувати мікробіоту біоаерозолі приміщення для відгодівлі свиней, було визначено кількісні мікробіологічні показники протягом періоду відгодівлі в залежності від пори року. У таблиці 3.1 наведено дослідження забруднення повітря МАФАНМ та грибами у свинарнику для відгодівлі.

З даних табл. 3.1 спостерігаємо закономірну тенденцію щодо найменшого вмісту бактеріальної й грибкової мікробіоти у біоаерозолі свинарників на початку відгодівлі (10 доба) з поступовим збільшенням концентрації мікрофлори у повітрі в наступні місяці відгодовування. Зокрема, взимку протягом 1 місяця відгодівлі кількість МАФАНМ у біоаерозолі свинарників зростала в 4,2 рази ( $P < 0,01$ ), а упродовж 2,5 місяця – в 6,7 рази ( $P < 0,01$ ), що становило  $5,5 \pm 0,2 \times 10^5$  та  $8,8 \pm 0,3 \times 10^5$  КУО/м<sup>3</sup> відповідно.

У теплі періоди року динаміка забруднення повітря мікроорганізмами у свинарнику була нижча, ніж у холодній. Так, весною у визначені періоди дослідження біоаерозолі у свинарнику кількість МАФАНМ зростала в 2,0 рази ( $P < 0,05$ ) та 5,7 рази ( $P < 0,01$ ), відповідно до  $5,7 \pm 0,2 \times 10^5$  КУО/м<sup>3</sup>. У літні та осінні

місяці динаміка накопичення мікрофлори в біоаерозолі свинарників за відгодівлі свиней була ще нижча, ніж навесні.

Таблиця 3.1

**Мікробна контамінація повітря у свинарнику за відгодівлі свиней та забезпечення мікроклімату за допомогою системи Big Dutchman,  $M \pm m$ ,  $n=45$**

Пара року	Період утримання свиней у приміщенні	Вміст мікроорганізмів, КУО/м <sup>3</sup>	
		КМАФАМ	Гриби
Зима	10 діб	$1,3 \pm 0,1 \times 10^5$	$2,1 \pm 0,1 \times 10^2$
	1 міс	$5,5 \pm 0,2 \times 10^{5**}$	$8,9 \pm 0,3 \times 10^2$
	2,5 міс	$8,8 \pm 0,3 \times 10^{5**}$	$1,3 \pm 0,08 \times 10^{3**}$
Весна	10 діб	$1,0 \pm 0,08 \times 10^5$	$3,3 \pm 0,1 \times 10^2$
	1 міс	$2,0 \pm 0,1 \times 10^{5*}$	$5,4 \pm 0,2 \times 10^2$
	2,5 міс	$5,7 \pm 0,2 \times 10^{5**}$	$7,9 \pm 0,3 \times 10^{2*}$
Літо	10 діб	$5,2 \pm 0,2 \times 10^4$	$4,2 \pm 0,2 \times 10^2$
	1 міс	$8,0 \pm 0,3 \times 10^4$	$7,5 \pm 0,3 \times 10^2$
	2,5 міс	$1,1 \pm 0,09 \times 10^{5*}$	$8,1 \pm 0,2 \times 10^{2*}$
Осінь	10 діб	$7,2 \pm 0,2 \times 10^4$	$4,3 \pm 0,2 \times 10^2$
	1 міс	$9,3 \pm 0,3 \times 10^4$	$7,8 \pm 0,3 \times 10^2$
	2,5 міс	$3,1 \pm 0,1 \times 10^{5**}$	$1,1 \pm 0,1 \times 10^{3*}$

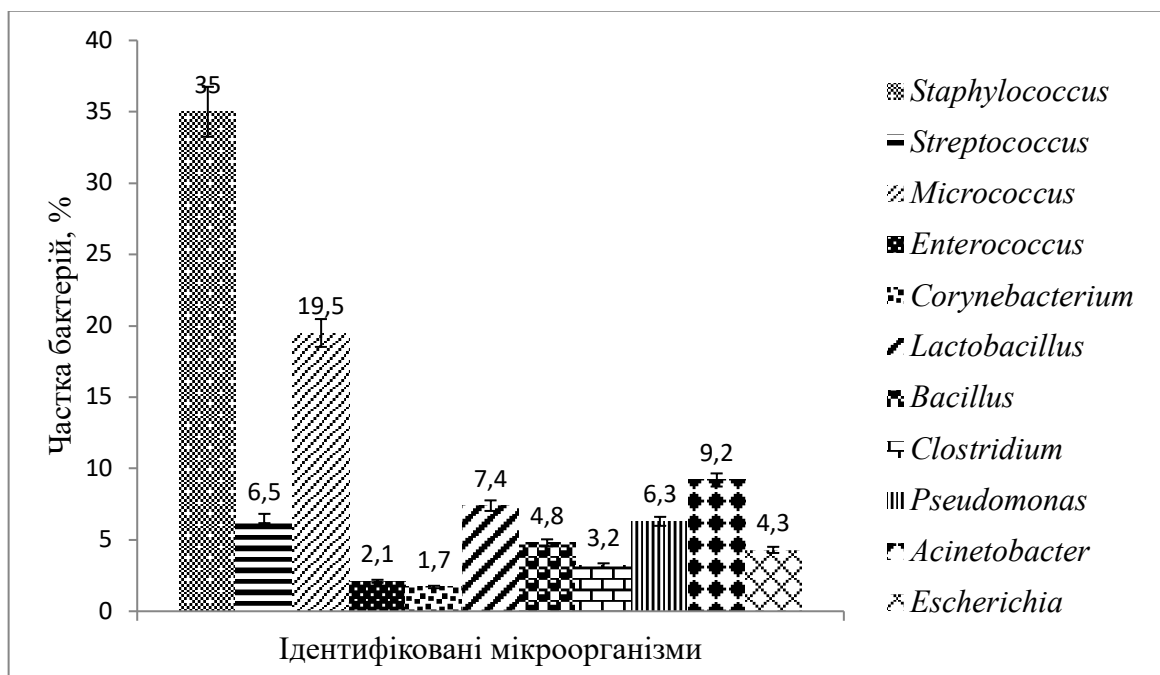
Примітка. \* –  $P < 0,05$ , \*\* –  $P < 0,01$  – порівняно з кількістю на 10 добу.

Зростання МАФАМ протягом першого місяця відгодівлі літом і восени було в 1,5 та 1,2 раза, відповідно до  $8,0 \pm 0,3 \times 10^4$  та  $9,3 \pm 0,3 \times 10^4$  КУО/м<sup>3</sup>. За 2,5 місяці відгодівлі кількість МАФАМ у літні місяці в біоаерозолі збільшилася в 2,1 раза ( $P < 0,05$ ), а в осінні – в 4,3 раза ( $P < 0,01$ ) і була найменша, порівнюючи з іншими місяцями дослідження. До того ж встановлено, що у зимові місяці кількість МАФАМ у біоаерозолі свинарників протягом усього періоду відгодовування була в 8,0 та 2,8 раза більша, ніж у літні та осінні місяці.

Аналіз кількості грибової мікробіоти у біоаерозолі свинарників за відгодівлі свиней виявив подібну тенденцію як за динаміки МАФАНМ. Зокрема, початкова кількість грибів через десять діб відгодівлі становила  $2,1 - 4,3 \times 10^2$  КУО/м<sup>3</sup>, з найбільшим зростанням взимку в 6,1 раза ( $P < 0,01$ ) протягом 2,5 місяці відгодівлі, та в середньому в 2,5 раза ( $P < 0,05$ ) у весняні й осінні місяці, водночас найменше збільшення вмісту грибів у повітрі свинарників реєстрували влітку – в 1,5 раза ( $P < 0,05$ ).

Отже, дослідження показує, що під час відгодівлі свиней у біоаерозолі поступово відбувається накопичення бактеріальної й грибової мікробіоти, яка може передаватися повітряно-крапельним шляхом. Тому забезпечення ефективної роботи системи мікроклімату є запорукою зниження концентрації мікроорганізмів у повітрі та негативного «тиску» на імунну систему тварин.

З наукового погляду, для детального розуміння чинників і джерел формування біоаерозолу у свинарниках за сучасних способів відгодівлі свиней мають дослідження з визначення родового складу мікробіоти. На рис. 3.1 наведено дані з ідентифікації мікроорганізмів, виділених з біоаерозолу в свинарниках.



**Рис. 3.1.** Відсотковий склад ідентифікованої мікробіоти біоаерозолу свинарників для відгодівлі у літній період

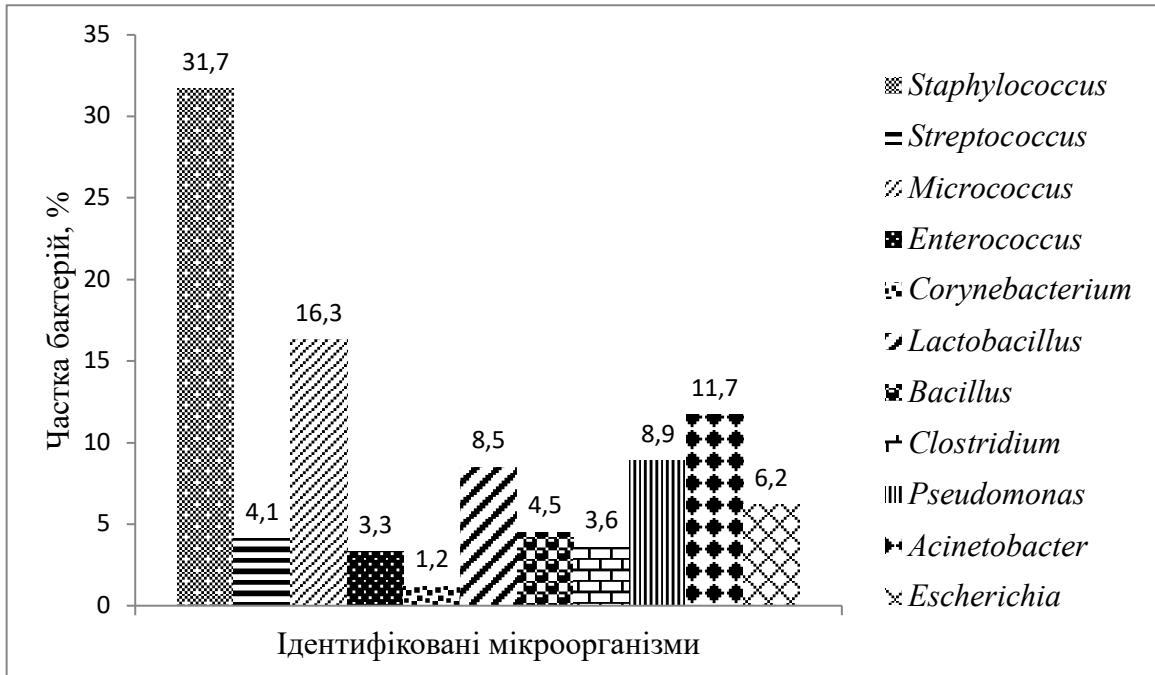
Аналізуючи родовий склад мікрофлори біоаерозолу приміщення для утримання свиней на відгодівлі (рис. 3.1) відзначаємо, що стафілококи становлять найбільшу частку ідентифікованої мікробіоти – 35,0 %. Приблизно в 1,8 раза менше становили у складі мікробіоти біоаерозолу бактерії роду *Micrococcus* – 19,5 %, та в 5,4 раза менше, ніж стафілококи були представлені стрептококи – 6,5 %. Сумарно ці три роди грампозитивних коків становили більшу частину мікрофлори біоаерозолу свинарників у літній період – 61 %. Серед грампозитивних паличкоподібних бактерій найпоширенішим був рід *Lactobacillus*, частка якого у складі мікробіоти біоаерозолу становила 7,4 %, а роду *Bacillus* – 4,8 %.

Необхідно відзначити, що доволі значну частку мікробіоти біоаерозолу свинарників становили грамнегативні бактерії – 19,8 %, при цьому серед них на рід *Acinetobacter* припадала половина від цих бактерій. Інші ідентифіковані у складі повітря свинарників бактерії займали незначну частку – до 3 %.

Таким чином, біоаерозоль приміщень за відгодівлі свиней у літній період, в основному представлений грампозитивними бактеріями, серед яких стафілококи, мікрококи та стрептококи є домінуючою мікробіотою у складі яких можуть бути повітряно-крапельні збудники.

Дослідження складу мікробіоти біоаерозолу свинарників у зимовий період наведено на рис. 3.2.

З рис. 3.2 спостерігаємо, що в загальному відсотковий склад основних морфологічних груп бактерій біоаерозолу в зимовий період не змінився порівняно з літнім періодом, водночас, відмічаємо деякі особливості. Зокрема, зменшення частки грампозитивної мікробіоти у біоаерозолі та збільшення грамнегативних бактерій. Так, відмічено сумарне зростання псевдомонад, коліформних бактерій та ацінобактерій до 26,8 % та зменшення кокової групи (стафілококи, мікрококи, стафілококи) до 25,1 %. Усі інші ідентифіковані роди не зазнавали вірогідних змін щодо відсоткової частки у складі біоаерозолу приміщень за відгодівлі свиней у зимовий період.



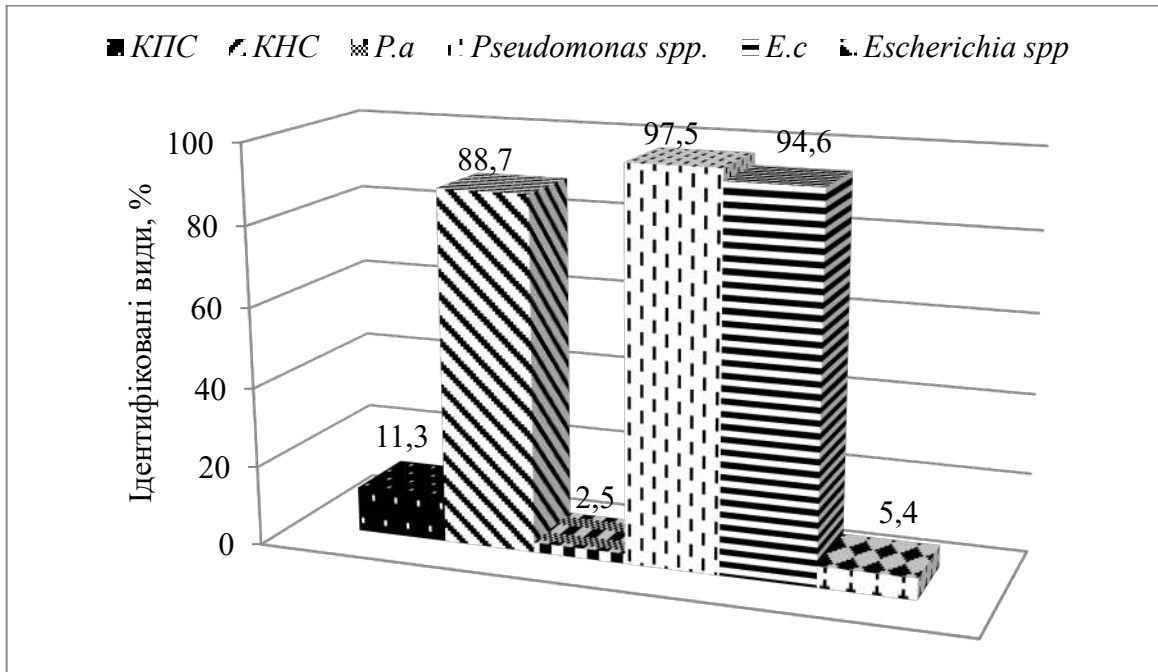
**Рис. 3.2. Відсотковий склад ідентифікованої мікробіоти біоаерозолі свинарнику для відгодівлі в зимовий період**

Отже, особливістю мікробіологічного складу біоаерозолі свинарників за використання сучасних систем забезпечення мікроклімату у зимовий період є збільшення частки грамнегативної мікрофлори.

Згідно ВООЗ ідентифіковано п'ять родів патогенних мікроорганізмів, що здатні інфікувати людей через біоаерозоль та спричиняти захворювання (*Pseudomonas*, *Escherichia-Shigella*, *Acinetobacter*, *Streptococcus* і *Staphylococcus*). Оскільки працівники ферм перебувають у постійному контакті з тваринами, необхідно оцінити ризик їх інфікування. Тому нами було проведено ідентифікацію найбільш значущих умовно-патогенних видів бактерій біоаерозолі приміщень за відгодівлі свиней в різні періоди року (рис. 3.3).

З рис. 3.3 видно, що в літній період у складі біоаерозолі свинарників бактерії роду *Staphylococcus* у 88,7 % випадків були представлені коагулазонегативними видами стафілококів (КНС), які зазвичай вважаються сапрофітними. Водночас на частку умовно-патогенних, які є збудниками різних запальних процесів – коагулазопозитивних видів (КПС) припадало 11,3 %, серед усієї стафілококової мікробіоти. Бактерії роду *Pseudomonas*, в 2,5 % були представлені умовно-патогенним видом *P. aeruginosa*, який вважається

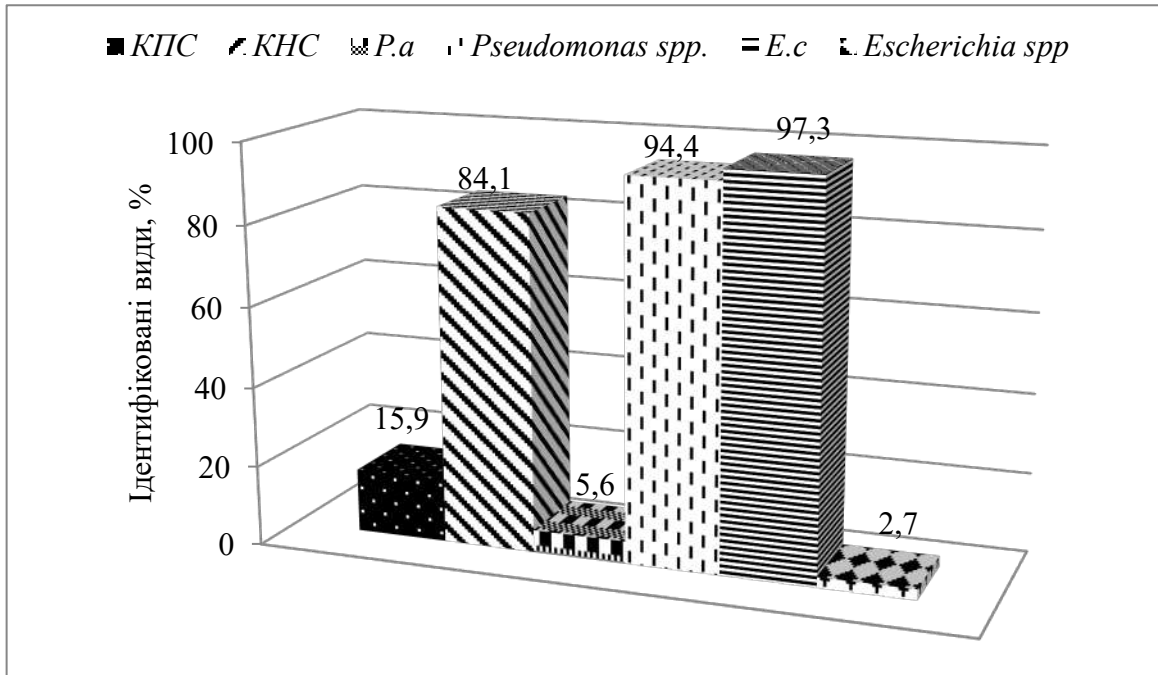
потенційно небезпечним для людей і тварин. Ідентифіковані з біоаерозоллю свинарників *Escherichia* були представлені в 94,6 % видом *E. coli*.



**Рис. 3.3. Ідентифікація найбільш значущих умовно-патогенних видів бактерій мікробіоти біоаерозоллю свинарників для відгодівлі в літній період**

Отже, з біоаерозоллю приміщень для відгодівлі свиней в літній період виділяються, хоч і не в значній кількості, умовно-патогенні види стафілококів, псевдомонад, які можуть бути збудниками різних запальних процесів. Ідентифікація складу трьох родів бактерій, виділених з біоаерозоллю в зимовий період, наведена на рис. 3.4.

Відмічаємо збільшення на 4,6 % КПС та в середньому в 2 рази *P. aeruginosa* у складі біоаерозоллю у зимовий період, порівнюючи з біоаерозолем, дослідженим у літній період (рис. 3.4).



**Рис. 3.4. Ідентифікація найбільш значущих умовно-патогенних видів бактерій мікробіоти біоаерозолі свинарників для відгодівлі в зимовий період**

Загалом можна відзначити, що у біоаерозолі свинарників навіть за використання сучасної системи регулювання мікроклімату присутні умовно-патогенні бактерії, які можуть передаватися повітряно-крапельним шляхом. Тому це вказує, що поряд із застосуванням ефективної системи контролю мікроклімату необхідно запроваджувати інші санітарно-гігієнічні заходи з прибирання та біодеградації гною, оскільки це прямий шлях формування мікробіоти біоаерозолі.

Отже, для забезпечення комфортного середовища у приміщенні для відгодівлі свиней необхідно налагодити відповідну систему вентиляції, яка повинна бути добре спроектована і керована, оскільки вона суттєво впливає на концентрацію біоаерозолів у свинарнику. До того ж, необхідно підтримувати санітарний стан у приміщеннях із одночасним застосуванням біодеструкторів.

*Результати даних досліджень опубліковано в науковій статті: Григораш, П. Б., Горюк, Ю. В., Кухтин, М. Д., & Горюк, В. В. (2025). Мікробіологічна оцінка біоаерозолі в боксах для відгодівлі свиней. Podilian*

### **3.2. Актуальність та передумови щодо розробки біодеструктора для покращення показників мікроклімату на свинокомплексах**

Висока рентабельність галузі свинарства, яка відбувається завдяки інтенсифікації виробництва, призводить до утворення великої кількості рідкого гною, який піддається швидкому мікробному розкладу. Водночас, неповна анаеробна біодеградація свинячого гною (суміш фекалій, сечі, залишків кормів та води) генерує газоподібні забруднюючі речовини, які впливають на якість життя, безпеку людини та здоров'я тварин. До того ж запахи, що виходять із великих свинокомплексів негативно сприймаються населенням, котре живе поблизу цих потужностей (Rappert & Müller, 2005).

Сучасні дослідження показують, що запах, який утворюється в приміщеннях та навколишньому середовищі біля свинокомплексів, є складною сумішшю газів, яка складається з понад 160 хімічних компонентів. Основу яких становлять сполуки сірки, аміаку, летких амінів, а також індоли та леткі жирні кислоти (Yan et al., 2013). Ці гази можуть викликати подразнення дихальних шляхів, алергію, астму, підвищену сприйнятливість до інфекційних захворювань, дратівливість, стрес, хронічні головні болі, нудоту, млявість і багато інших симптомів в осіб, які піддаються тривалому впливу (Matusiak et al., 2016). До того ж, сільськогосподарські тварини, які перебувають у приміщеннях з високою концентрацією біоареозолів та пахучих сполук мають знижений імунітет. Це призводить до зниження конверсії корму, якості та ефективності ведення тваринництва з наступними великими матеріальними втратами (Enticknap et al., 2006, Wing et al., 2008).

Враховуючи такі аспекти, науковці широко проводять дослідження з розробки ефективних способів зменшення надмірних запахів на свинокомплексах та у тваринництві в цілому. Зокрема, досліджувалися технології хімічного окислення, які проявили високу ефективність щодо

стабілізації широкого спектру неприємних газів. Водночас хімічні способи мають й значні недоліки, такі як високі експлуатаційні витрати або утворення та накопичення потенційно шкідливих побічних ксенобіотичних продуктів (Hamoda et al., 2021; Wang et al., 2013). Тому значний науковий інтерес викликають біологічні методи, які використовують мікроорганізми та ензими для зниження концентрації летких хімічних газоподібних сполук у відходах свинокомплексів та в приміщенні (Dumont et al., 2014, Jaber et al., 2017). Біопрепарати, у склад яких входять безпечні сапрофітні мікроорганізми та ензими, мають багато переваг, оскільки вони безпечні у використанні та не викликають корозії, вони зменшують надмірний ріст патогенних мікроорганізмів та можуть адсорбувати сполуки важких металів.

До того ж біопрепарати, на відміну від інших способів дезодорації, набувають все більшої популярності, оскільки для їх застосування не потрібно спеціального обладнання (Maslov et al., 2023). Водночас, для розроблення ефективного мікробного препарату для нейтралізації шкідливих газів у середовищі свинокомплексу необхідно застосувати науковий підхід, який би з'ясував механізм формування неприємного газу із врахуванням конкретної технології утримання свиней, раціону годівлі та видалення й зберігання гною. Тому аналізуючи літературні дані та сучасні технології вирощування свиней на свинокомплексах України, нами на наступному етапі було вивчено механізми формування та динаміку трансформації азоту у свинячому гної як основного компонента та джерела формування неприємних газоподібних сполук.

### **3.2.1 Обґрунтування та підбір мікроорганізмів для створення біологічного препарату для біодеструкції свинячого гною у гноєвій ванні**

Аналіз теоретичних й практичних досліджень у сукупності показує, що інокуляція екзогенних функціональних мікроорганізмів є багатообіцяючим підходом до зменшення втрат азоту та сприяння перетворенню азоту під час збирання свинячого гною у гноєві ванні. Проте, неможливо використовувати одні й ті ж мікроорганізми для біодеструкції гною у різних технологіях його

виробництва й зберігання, необхідні експериментально обґрунтовані дослідження, щоб встановити потенціал підбраної мікробної інокуляції для зменшення втрати азоту та підвищення загальної ефективності компостування. До того ж наразі існують обмеження, які пов'язані з інокуляцією окремих бактеріальних добавок у субстрати для біовідходів. Різні штами бактерій виявляють різний ступінь пристосованості до навколишнього середовища, що робить стабільність окремих бактерій чутливою до умов субстрату (Tian et al., 2023). Крім того, наявність конкуренції з боку місцевих мікроорганізмів у субстраті гною (біовідходів) може знизити ефективність окремих функціональних бактерій (Liu et al., 2020). Враховуючи ці проблеми, впровадження складного мікробного консорціуму в гноевому субстраті може виявитися більш ефективним підходом порівняно з використанням одного штаму бактерій (Ren et al., 2021).

Отже, опираючись на аналітичні дані огляду літератури щодо використання вітчизняних і закордонних біологічних препаратів для покращення гігієнічних показників повітря у свинарниках та санітарного стану накопиченого гною, нами обґрунтовано властивості, які повинні проявляти препарати біодеструктори у рідкій фазі свинячого гною у гноевій ванні.

1. Зменшувати вміст аміаку ( $\text{NH}_3$ ) – мікроорганізми біодеструктора мають переробляти сполуки азоту перетравлюючи їх у стабільніші форми (нітрати, білки), тим самим знижувати рівень леткої форми аміаку.

2. Розріджувати структуру гною – розкладати волокна клітковини, зменшувати в'язкість, при цьому рідка фаза стає більш гомогенною, що полегшує відкачування та транспортування гною з гноевої ванни.

3. Знижувати неприємний запах – здійснювати деструкцію білкових сполук та пригнічувати гнильну анаеробну клостридіальну мікрофлору тим самим зменшувати утворення сірководню, аміаку, меркаптанів, тощо.

4. Активізувати аеробні мікробіологічні процеси – біодеструктори мають містити бактерії, які запускають аеробні біохімічні зміни, що сприяють більш «чистому» розкладанню органічних речовин з меншим утворенням шкідливих газів.

5. Застосовуватися у присутності тварин – використані мікроорганізми не мають бути патогенними, не містити генів стійкості до найбільш поширених у ветеринарній та гуманній медицині антибактеріальних препаратів, бути стійкими до гноєвого середовища та проявляти активність за широкого діапазону температур (+ 10 – + 30 °С).

6. Швидко осаджувати тверді фракції – біологічні препарати біодеструктори мають сприяти кращому розділенню фракцій для полегшення сепарації гною і його перекачування.

7. Підготовка гною до внесення у ґрунт – ферментований перероблений гній має бути менш токсичним для мікробіоти ґрунту і краще засвоюватись рослинами як органічне добриво.

Враховуючи основні вищеперераховані властивості, які мають бути у препаратів біодеструкторів було науково підібрано мікроорганізми для препарату біодеструктору (табл. 3.2).

Таблиця 3.2

**Характеристика мікроорганізмів перспективних для біодекструкції свинячого гною у гноєвій ванні**

Мікроорганізми	Основні властивості	Вплив на показники гною
<i>Bacillus subtilis</i> ATCC 6633	Продукує ферменти (протеази, амілази, ліпази) для розщеплення органічних сполук. Антибактеріальні речовини.	Добре активні в аеробних і анаеробних умовах. Подавляє ріст і розвиток патогенних мікроорганізмів. Стійкі до різних умов.
<i>Bacillus licheniformis</i> штам G	Проявляє ферментативну активність щодо білку. Продукує антибактеріальні пептиди.	
<i>Lactobacillus plantarum</i>	Спричиняє молочнокисле бродіння, знижує рН, пригнічує гнильні і патогенні мікроорганізми. Активна за широкого	Знижує рН, пригнічує анаеробні процеси, впливає на трансформацію амонію.

	діапазону температур від +12 до + 40 °С та рН середовища від 3,4 до 8,8.	
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	Розкладає леткі органічні речовини, детоксикація запахів. Продукує ліпази і протеази, антибіотичні речовини.	Пригнічує патогени, знижує запах.
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Продукують ферменти, які ферментують вуглеводи, сприяють розвитку молочнокислих бактерій.	Для симбіотичного ефекту щодо розвитку молочнокислих бактерій.
<i>Azotobacter chroococcum</i>	Зв'язує атмосферний азот, стабілізує азотний баланс.	Покращує якість гною, переводить його в органічне добриво.
<i>Cellulomonas spp.</i>	Розщеплення целюлози.	Розкладання підстилки, залишку корму.

Комплексно врахувавши біологічні властивості підібраних нами мікроорганізмів для препарата-біодеструктора, було поєднано ці мікс-культури в один коктейль з наступною кількістю КУО в 1 мл (табл. 3.3).

Таблиця 3.3

**Біоактивні мікроорганізми у препараті для біодекструкції свинячого гною у гноєвій ванні**

Мікроорганізми	Кількість, КУО/мл	Функції
<i>Bacillus subtilis</i> ATCC 6633	1 млрд.	Протеїновий, амілолітичний та жировий розклад. Пригнічення мікрофлори.
<i>Bacillus licheniformis</i> штам G	1 млрд.	
<i>Lactobacillus plantarum</i>	1 млрд.	Зниження рН, пригнічення гнільних бактерій.
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	0,5 млрд.	Детоксикація, зниження запахів, пригнічення мікрофлори.
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	0,5 млрд.	Ферментативний каталіз
<i>Azotobacter chroococcum</i>	0,5 млрд.	Азотофіксація, добриво
<i>Cellulomonas spp.</i>	0,5 млрд.	Целюлорозщеплення

Дані табл. 3.3 свідчать про значний вміст мікроорганізмів у створеному біологічному препараті, який становить 5 млрд. КУО/мл. Така кількість мікроорганізмів має активно впливати на мікробіологічний процес у гної й розщеплювати біологічні компоненти.

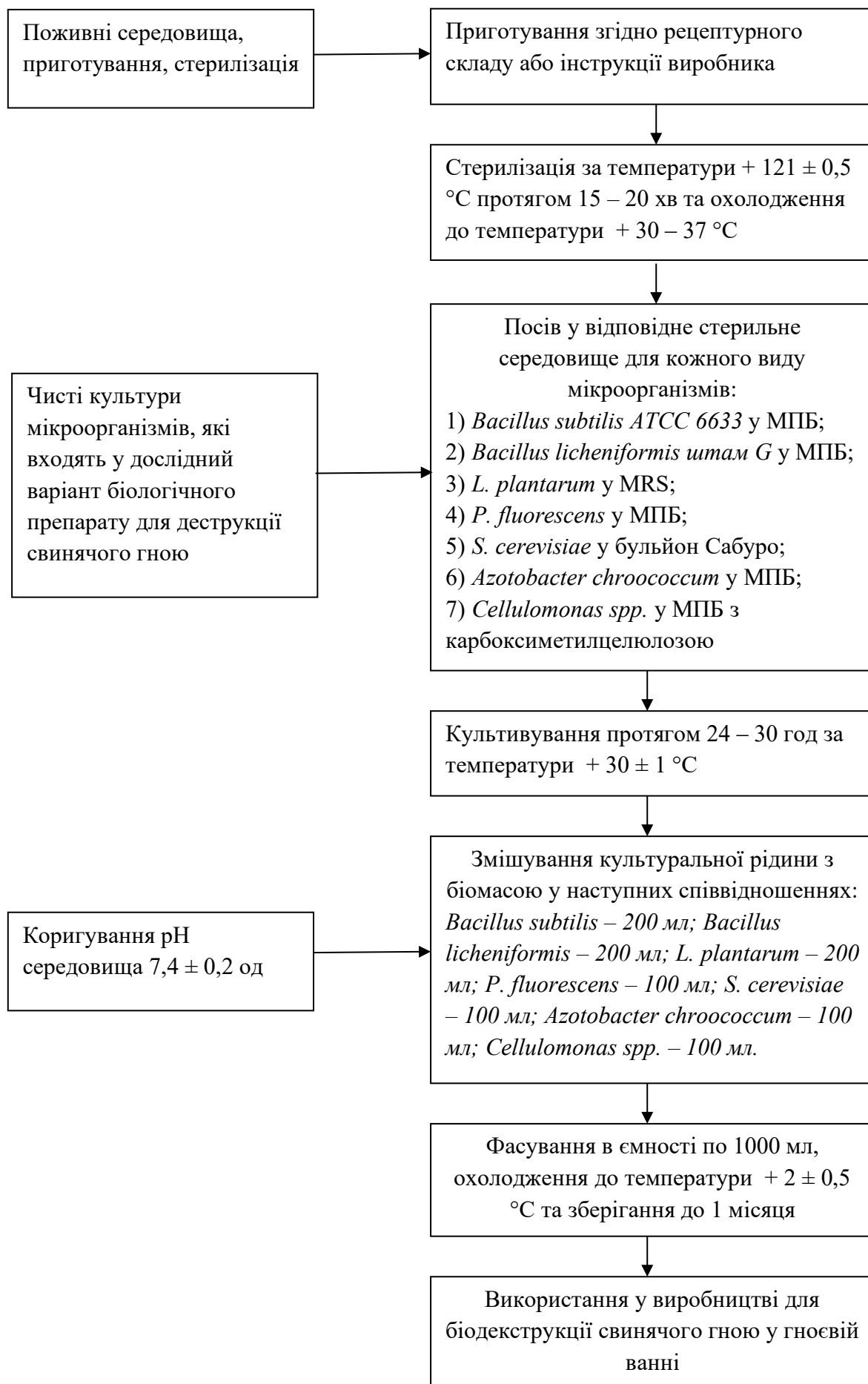
На рис. 3.5 наведено блок-схему технології виготовлення комплексного біопрепарату для біодекструкції свинячого гною у гноєвій ванні.

Відповідно до рис 3.5 технологічна блок-схема виготовлення біодекструктора для рідкого свинячого гною передбачає наступні операції:

1. *Приготування та стерилізація поживних середовищ.* Для кожного виду мікроорганізмів, який нами підбрано у склад біодекструктора, необхідно застосовувати поживне середовище, в якому даний вид буде максимально швидко розвиватися. Можна використовувати живильні середовища промислового виробництва або приготувати їх самим згідно рецептурного складу цього середовища. Після приготування таких середовищ їх стерилізують в автоклаві, а потім охолоджують до температури, оптимальної для засівання чистих культур.

2. *Культивування та нарощування мікробних клітин.* Після стерилізації й охолодження живильних середовищ проводимо посів чистих культур відповідних мікроорганізмів у певне середовище. Вносимо 1 мл 1 млрд чистої культури у 100 мл живильного середовища. Засіяні таким чином колби інкубуємо за температури  $+ 30 \pm 1$  °C протягом 24 – 30 год. Під час інкубування проводимо час від часу перемішування шляхом збовтування живильного середовища з посівним матеріалом.

3. *Приготування мікс-культури мікроорганізмів.* Після завершення культивування та нарощування мікробних клітин проводимо змішування окремо вирощених культур у наступних співвідношеннях: *Bacillus subtilis* – 200 мл; *Bacillus licheniformis* – 200 мл; *L. plantarum* – 200 мл; *P. fluorescens* – 100 мл; *S. cerevisiae* – 100 мл; *Azotobacter chroococcum* – 100 мл; *Cellulomonas spp.* – 100 мл. Таким чином, отримуємо суспензію з мікс-культур мікроорганізмів у кількості 1000 мл. Змішану культуральну рідину з мікробною масою охолоджуємо до  $+ 2 \pm 0,5$  °C та зберігаємо в холодильнику протягом 1 місяця до використання.



**Рис. 3.5. Технологічна схема виготовлення комплексного біопрепарату для біодеструкції свинячого гною у гноєвій ванні**

4. Приготування робочого розчину біологічного препарату для біодекструкції свинячого гною у гноєвій ванні. У виробничих умовах на свинофермі відбираємо 100 – 200 мл біопрепарату, додаємо 10 л водопровідної води температурою + 30 – + 37 °С та 200 мл меляси або цукрового сиропу, витримуємо 4 – 6 год за кімнатної температури. Після цього 1 л приготовленого робочого розчину вносимо у гноєву ванну приблизно на 1 м<sup>3</sup> рідкого свинячого гною. Через сім діб повторно вносимо препарат із таким самим розрахунком і так протягом усього періоду наповнення гноєвої ванни.

Даний біологічний препарат для біодекструкції свинячого гною у гноєвій ванні нами було названо «Санаеро».

Основні результати досліджень, представлені у даному підрозділі, опубліковано у науковій статті: Grigorash, P. B., Horiuk, Y. V., Salata, V. Z., Prosyanyi, S. B., Perkiy, Y. B., & Motkalyuk, N. F. (2026). Characteristics of nitrogen transformation processes in pig manure during fattening with the use of the biodestructor Sanaero. *Ukrainian Journal of Veterinary and Agricultural Sciences*, 9(1), 40–46.

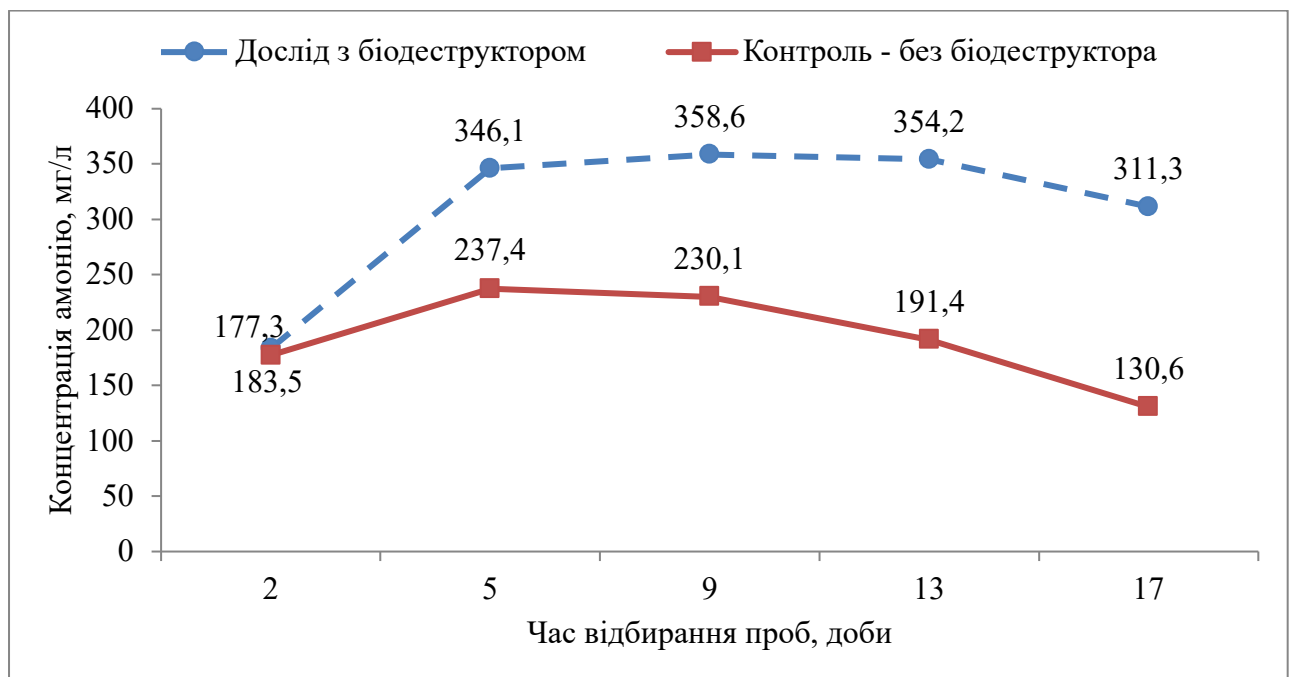
### **3.3. Характеристика процесів трансформації азоту у свинячому гної у гноєвій ванні під час відгодівлі свиней за використання біодекструктора «Санаеро» протягом року**

Дослідження проведено на трьох свинофермах з відгодівлі свиней з 76 по 160 добу, які входять у компанію ПП "Аграрна компанія 2004". У господарствах свиней утримують на решітчастій підлозі у боксах по 25 – 30 голів. Під кожним боксом наявна гноєва ванна, яку очищають від гною кожні 17 – 20 діб. Відбирання проб для дослідження проводили на 2, 5, 9, 13 та 17 доби, доставляли у лабораторію та визначали вміст продуктів розпаду органічних речовин (амонію, аміаку, нітритів, нітратів, загального азоту), які впливають на процес формування неприємного запаху у внутрішньому й зовнішньому середовищі ферм. На цих свинофермах було сформовано по дві групи свиней: у першій – дослідній вносили у гній біодекструктор «Санаеро», а друга була контрольна –

біодеструктор не застосовували. У склад біодеструктора, який нами розроблено, згідно інструкції входять наступні мікроорганізми роду *Bacillus*, *Lactobacillus*, *Pseudomonas*, *Azotobacter*, *Cellulomonas* та *Saccharomyces*.

У свіжому свинячому гної переважає аміачна форма азоту ( $\text{NH}_4^+$ ), яка утворюється в результаті ферментативного розпаду органічного азоту. Надалі інтенсивність переходу амонію в аміак, нітрити й нітрати залежить від багатьох факторів: температури – чим вища, тим активніші мікробіологічні процеси; рН – при рН вище 7 од амоній переходить у газоподібний аміак, основний складник неприємного запаху на фермі, при рН нижче 5,5 од нітрифікація не відбувається; аеробності/анаеробності – обумовлює чи буде домінувати амоніфікація чи нітрифікація (Qiu et al., 2021; Wu et al., 2023; Lyu et al., 2024).

Дослідження зміни вмісту амонію у рідкому свинячому гної під час наповнення гноєвої ванни протягом 17 діб за температури навколишнього середовища + 20 – + 25 °С наведено на рис. 3.6.



**Рис. 3.6.** Динаміка амонію у рідкому свинячому гної під час наповнення гноєвої ванни протягом 17 діб за температури навколишнього середовища + 20 – 25 °С

З рис. 3.6 спостерігаємо приблизно однакову криву, яка описує динаміку зміни амонію у свинячому гної у гноєвій ванні, натомість значення вмісту амонію у дослідних пробах за використання біодеструктора були більші. Зокрема, у дослідному гної з біодеструктором «Санаеро» добре проглядається фаза зростання, стабілізації та поступового зменшення амонію. Тобто, видно, що протягом п'яти діб у гної з біодеструктором концентрація амонію зростає, в середньому в 1,9 раза ( $P < 0,05$ ) до  $346,1 \pm 12,8$  мг/л, що є свідченням активного розпаду органічних сполук та амоніфікації. Водночас, у контрольному гної за цей період концентрація амонію повільніше зростає, приблизно в 1,3 раза ( $237,4 \pm 10,9$  мг/л), тобто мікроорганізми гною без біодеструктора не дають можливість амонію інтенсивно накопичуватися. Ймовірно через повільніші процеси розпаду органічних речовин гною.

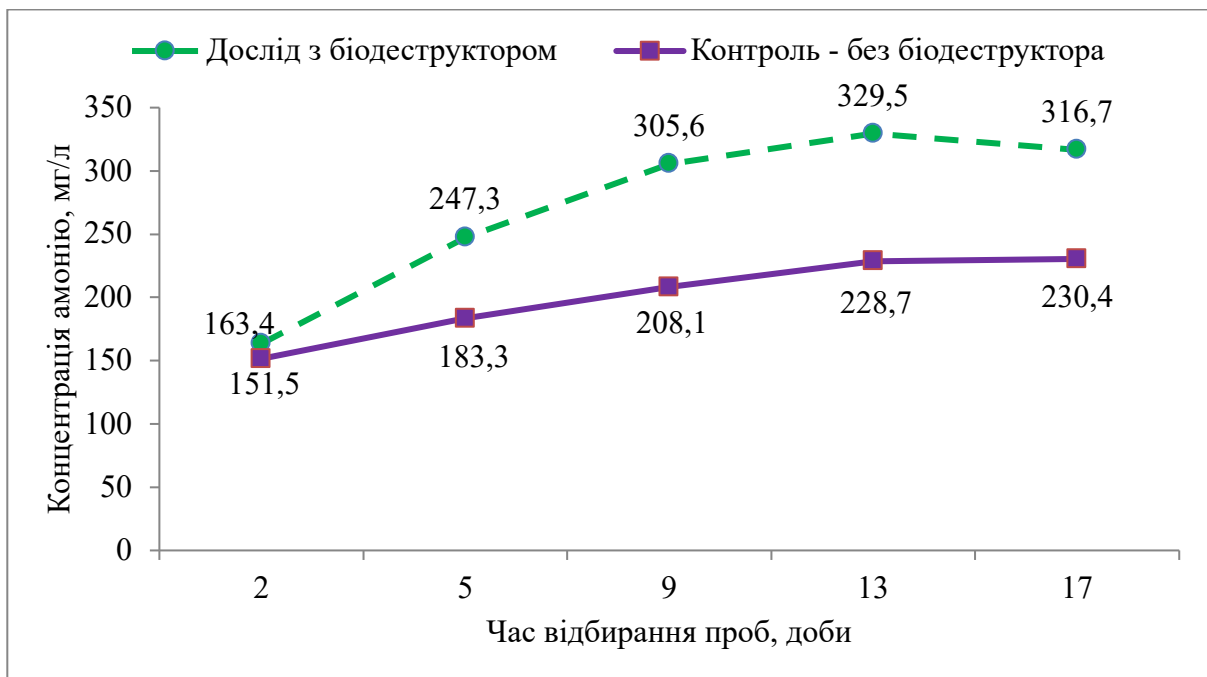
У період з 6 по 13 добу у дослідному гної з мікроорганізмами біодеструктора «Санаеро» відмічаємо певну стабілізацію процесу амоніфікації, оскільки результати статистично не відрізнялися між собою і його концентрація не зменшувалася. Однак намітилася тенденція до поступового зменшення до 17 доби.

Натомість у контрольному гної без біодеструктора стабільні значення вмісту амонію були протягом коротшого періоду з 6 по 8 добу. З 9 доби у гноєвій ванні відмічаємо активізацію амоніфікації, так як концентрація амонію зменшилася в 1,8 раза ( $P < 0,05$ ) до  $130,6 \pm 7,5$  мг/л, при дослідженні на 17 добу.

Отже, застосування біодеструктора сприяє збільшенню накопичення високих концентрацій амонію у гної в гноєвих ваннах та швидшому розкладанню органічних речовин й очевидно, втратам амонію через нітрифікацію або денітрифікацію. До того ж, найвищі значення концентрації амонію у гної з біодеструктором були у період з 5 по 13 добу, а без біодеструктора – з 5 по 8 добу. При цьому концентрація амонію у гної в дослідних пробах була в 1,5 – 2,3 раза ( $P < 0,05$ ) більша у період з 5 по 17 добу, порівнюючи з його концентрацією у гної дослідних контрольних проб.

Загальновідомо, що температура субстрату, який ферментується є показником метаболічної активності мікробів (Tong et al., 2019; Chen et al., 2019).

До того ж, температура має вирішальний вплив на процес накопичення амонію у рідкому свинячому гної під час наповнення гноєвої ванни за відгодівлі свиней. Загальні втрати азоту та викиди аміаку в основному викликані перетворенням амонійного азоту в аміак за участі мікроорганізмів та складних біохімічних перетворень. Враховуючи, що значну частину року температура навколишнього середовища в нашій кліматичній зоні знаходиться нижче + 20 °С, нами було визначено процеси перетворення азоту у гної за використання розробленого біодеструктора «Санаеро» у зимовий період, коли температура у свинарнику для відгодівлі свиней становила в межах +15 – +17 °С. Результати наведено на рис. 3.7.



**Рис. 3.7.** Динаміка амонію у рідкому свинячому гної під час наповнення гноєвої ванни протягом 17 днів за температури навколишнього середовища + 15 – +17 °С

З рис. 3.7 видно, що процес мінералізації органічних сполук з вивільненням азоту в амонійній формі швидше проходив за внесення у гній біодеструктора «Санаеро». Зокрема, уже протягом п'яти днів вимірювання концентрація амонію у гної з біодеструктором була в 1,3 раза ( $P < 0,05$ ) вища, ніж без нього і становила  $247,3 \pm 15,6$  мг/л та  $183,3 \pm 12,4$  мг/л, відповідно. Якщо порівняти ці дані із результатами накопичення амонію за температури + 20 – + 25 °С (рис. 3.1) то

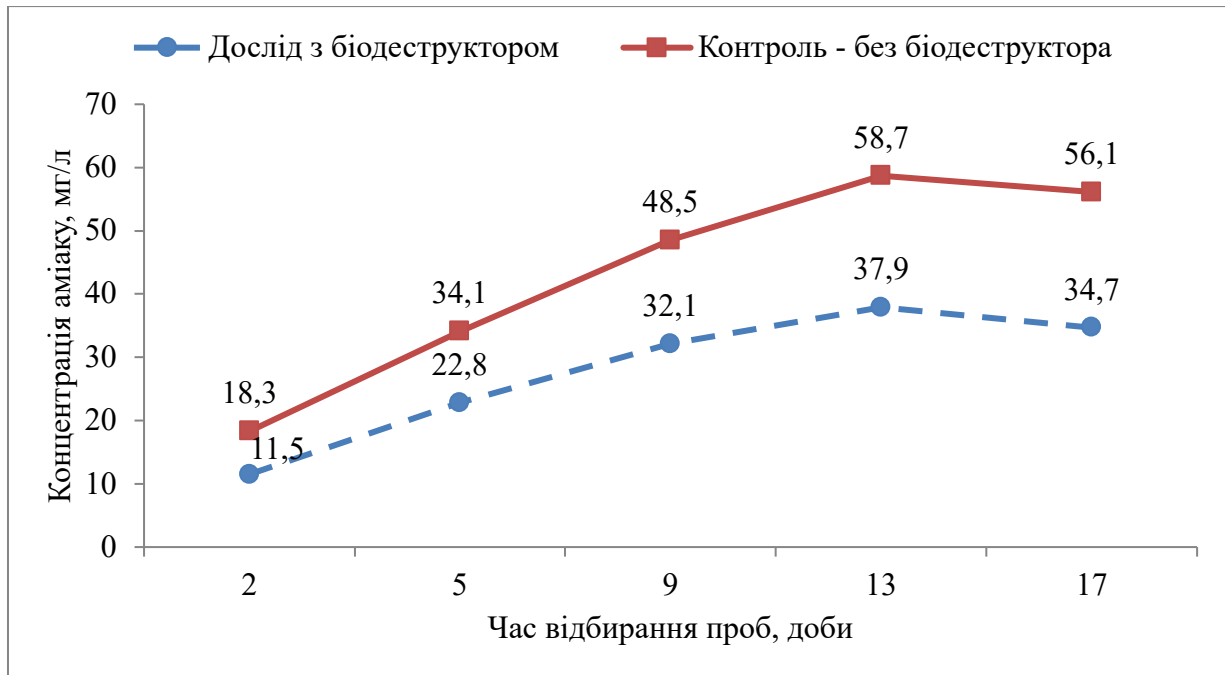
відмічаємо, що за нижчої температури на п'яту добу концентрація амонію була, в середньому в 1,4 (в дослідному гної) та 1,3 раза ( $P < 0,05$ ) (контрольному) нижча, ніж у гної за вищої температури навколишнього середовища.

З п'ятої по 13 добу вміст амонію у гної з мікроорганізмами «Санаеро» інтенсивно зростав і мав найбільше пікове значення  $329,5 \pm 26,1$  мг/л, що в 1,4 раза ( $P < 0,05$ ) більша концентрація амонію, ніж у контрольному гною у цей час. Якщо порівняти вміст амонію за температури  $+15 - +17$  °С із даними за температури  $+20 - +25$  °С, то вони статистично не відрізнялися у дослідних пробах гною,  $329,5 \pm 26,1$  мг/л та  $354,2 \pm 27,8$  мг/л, відповідно. Це вказує, що в обох випадках процес досягає пікових значень, щодо розпаду органічних речовин рідкого свинячого гною у ванній накопичення. Також відмічаємо, що у гної з біодеструктором після 13 доби намітилася тенденція до поступового зниження амонію, натомість у контрольному вона зростала аж до 17 доби дослідження, це вказує, що у гної без біодеструктора ще проходить інтенсивний процес розпаду органічних речовин.

Отже, з дослідів відмічаємо, що процес накопичення амонію у гної з біодеструктором за температури  $+15 - +17$  °С проходить, в середньому в 1,4 раза ( $P < 0,05$ ) інтенсивніше, порівнюючи з таким гноєм, але без біодеструктора. До того ж, за нижчої температури  $+15 - +17$  °С, процес розпаду органічних речовин гною до амонію з біодеструктором «Санаеро» був, в середньому в 1,3 раза ( $P < 0,05$ ) повільніший (на п'яту – шосту доби вимірювання), ніж за температури  $+20 - +25$  °С. Надалі процеси розпаду значно не відрізнялися за двох температур, крім того що процес зниження вмісту амонію швидше розпочинався за вищої температури.

Рівень азоту також має великий вплив на виділення аміаку. Азот у гної знаходиться в основному у формі амонійного азоту, нітратного азоту, органічного азоту та аміаку, натомість амонійний азот за умов високого рН і температури легко перетворюється на газоподібний аміак і вивільняється у повітря (Wong et al., 2017; Zhou et al., 2018; Huang et al., 2024). Тому визначили зміни вмісту аміаку у рідкому свинячому гної під час наповнення гноєвої ванни

протягом 17 діб за температури навколишнього середовища + 20 – + 25 °С (рис. 3.8).



**Рис. 3.8.** Динаміка зміни аміаку у рідкому свинячому гної під час наповнення гноєвої ванни протягом 17 діб за температури навколишнього середовища + 20 – 25 °С

З рис. 3.8 спостерігаємо, що надходження свіжого гною, багатого на азот і сечовину, сприяє наростанню аміаку у субстраті двох груп. При цьому з кожною новою порцією гною поступово зростає його концентрація майже протягом усього періоду дослідження. Водночас наявні значні кількісні відмінності щодо концентрації аміаку у гної між двома групами. Зокрема, можна виділити фазу початкового повільного накопичення аміаку у гної протягом п'ять діб, у якій в контрольних пробах концентрація аміаку зросла до  $34,1 \pm 1,7$  мг/л, проти  $22,8 \pm 1,5$  мг/л у дослідних пробах з біодеструктором «Санаеро». У цей період рН ще не досягають оптимальних значень для інтенсивного переходу амонію у аміак, також менша концентрація аміаку у дослідних пробах, ймовірно пояснюється нижчим рН рідкого гною через інтенсивний розвиток мікроорганізмів з біодеструктора.

З 6 по 13 добу концентрація аміаку у гної в двох варіантах дослідів інтенсивно зростає через активне надходження нових порцій гною, який насичує

середовище амонієм. Водночас у контрольних пробах концентрація аміаку була в 1,5 – 2,0 раза ( $P < 0,05$ ) більша, ніж у дослідному гної із біодеструктором «Санаеро» і становила  $58,7 \pm 3,4$  мг/л та  $37,9 \pm 2,1$  мг/л відповідно на 13 добу. Наявність вищої концентрації аміаку у контрольному гної, очевидно зумовлена сприятливим рН середовищем для переходу амонію в аміак. Натомість у дослідних пробах завдяки активній дії мікроорганізмів біодеструктора відбувається стимулювання нітрифікації, тому аміак не накопичується у великих кількостях (до 40 мг/л).

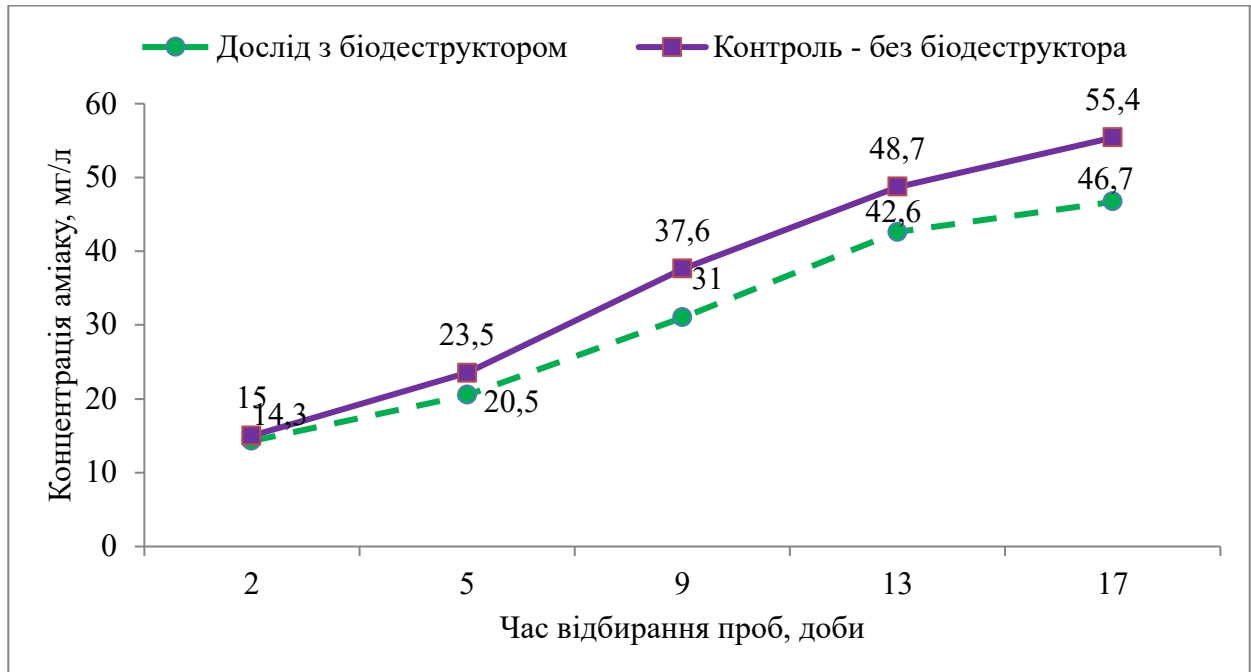
З 14 доби проходить умовна стабілізація аміаку та незначні його втрати у двох групах гною через випаровування та перехід у нітриту. Водночас у дослідних зразках з біодеструктором «Санаеро» концентрація аміаку була в середньому 1,6 раза ( $P < 0,05$ ) нижча, ніж у гної в контролі. Це пояснюється інтенсивними процесами нітрифікації під впливом бактерій, за яких частина азоту переходить у нітриту, котрі не випаровуються в навколишнє середовище.

Отже, внесення у гноєві ванни біодеструктора «Санаеро» дозволяє знизити концентрацію та втрати аміаку, що менше буде забруднювати повітря та позитивно впливати на санітарно-гігієнічний стан приміщень та навколишнього середовища свиноферми в цілому.

Зміни вмісту аміаку у рідкому свинячому гної під час наповнення гноєвої ванни протягом 17 діб за температури навколишнього середовища  $+ 15 - + 17$  °C наведено на рис. 3.9.

З рис. 3.9 спостерігаємо подібну динаміку накопичення аміаку у рідкому свинячому гної дослідних і контрольних проб, як за температури  $+ 20 - + 25$  °C. Тобто, у контрольних зразках гною концентрація накопиченого аміаку була вищою, ніж у гної з біодеструктором «Санаеро» протягом усього періоду заповнення гноєвої ванни. Також відмічаємо, що інтенсивність накопичення аміаку за температури  $+ 15 - + 17$  °C була нижча, ніж за вищої температури, особливо це чітко проглядається у контрольних пробах. Це очевидно пояснюється нижчою метаболічною активністю мікрофлори гною, оскільки, у контрольних пробах на п'яту та дев'яту добу вимірювання концентрація аміаку

була, в середньому в 1,5 – 1,3 раза нижча, ніж за температури + 20 – + 25 °С у цей період.



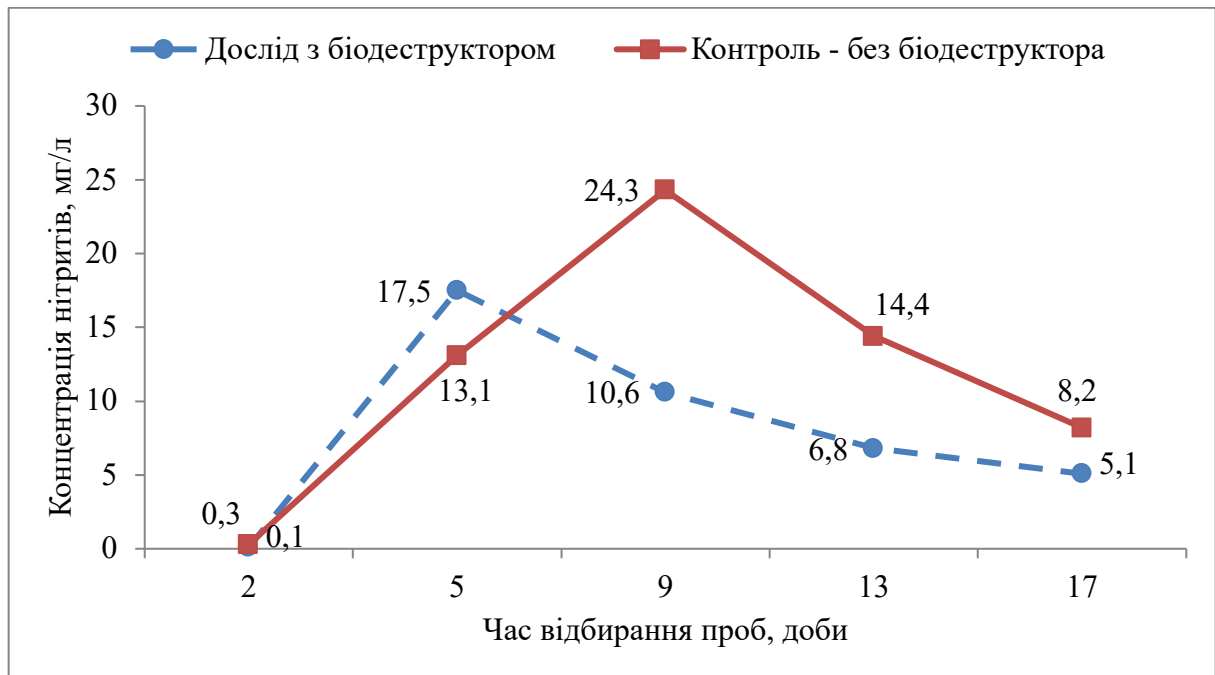
**Рис. 3.9.** Динаміка зміни вмісту аміаку у рідкому свинячому гної під час наповнення гноєвої ванни протягом 17 днів за температури навколишнього середовища + 15 – + 17 °С

На 13 та 17 добу наповнення гноєвої ванни концентрація аміаку у контрольних пробах приблизно була однаковою, при чому за нижчої температури вона ще незначно зростала. Водночас, у пробах гною з мікроорганізмами біодеструктора «Санаеро», концентрація аміаку у гної за температури + 15 – + 17 °С не мала суттєвої різниці до дев'ятої доби наповнення, порівнюючи із вмістом за температури + 20 – + 25 °С. Надалі за температури + 20 – + 25 °С концентрація аміаку почала зменшуватися, а у пробах гною за нижчої температури аміак ще наростав аж до 17 доби вимірювання.

Отже, у зимовий період температура навколишнього середовища в приміщенні свинарників в межах 15 – 17 °С значно не впливає на активність мікроорганізмів біодеструктора «Санаеро», оскільки динаміка накопичення аміаку була приблизно та ж, як і за температури 20 – 25 °С. Також встановлено, що мікроорганізми біодеструктора «Санаеро» зумовлюють утримування аміаку

у гної, зменшуючи таким чином перетворення його у газоподібну форму, яка забруднює повітря приміщень.

Зміни вмісту нітритів у рідкому свинячому гної під час наповнення гноєвої ванни протягом 17 діб за температури навколишнього середовища від +20 – + 25 °С наведено на рис. 3.10.



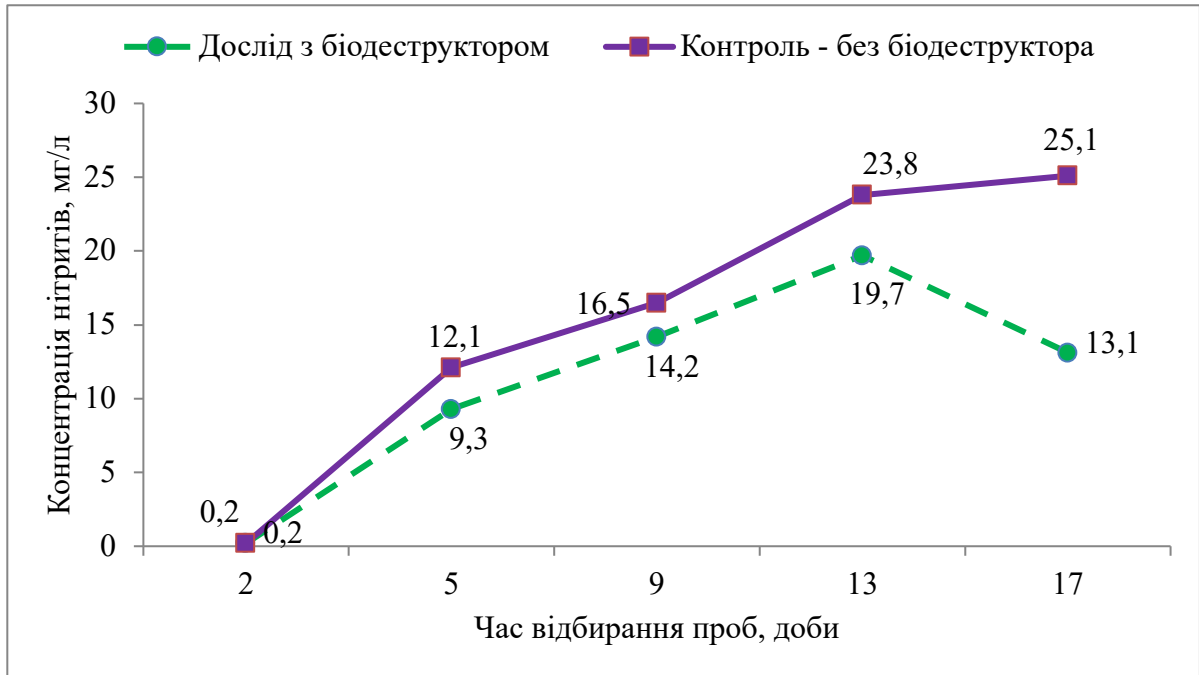
**Рис. 3.10.** Динаміка зміни концентрації нітритів у рідкому свинячому гної під час наповнення гноєвої ванни протягом 17 діб за температури навколишнього середовища + 20 – + 25 °С

Дослідження динаміки концентрації нітритів у рідкому свинячому гної в гноєвій ванні протягом 17 діб її заповнення в літній період показало суттєвий вплив біодеструктора «Санаеро» на процес розпаду азотистих сполук (рис. 3.10). Зокрема, у варіанті без застосування біодеструктора максимальна концентрація нітритів досягала  $24,3 \pm 1,5$  мг/л на дев'яту добу, тоді як у досліді з біодеструктором – лише  $17,5 \pm 0,8$  мг/л на п'яту добу. Це вказує на швидший процес нітрифікації за присутності мікроорганізмів біодеструктора, внесених у гній, за якого аміак окислюється за участі мікроорганізмів роду *Nitrosomonas* до нітритів.

Після дев'ятої доби у контрольному гної та після п'ятої у дослідному за застосування біодеструктора «Санаеро», концентрація нітритів починає різко знижуватися. Зокрема, на 13-ту добу концентрація нітритів у дослідному варіанті гною була, в середньому в 2,1 разів ( $P < 0,05$ ) нижча, ніж у контрольному і становила  $6,8 \pm 0,4$  мг/л та  $14,4 \pm 0,6$  мг/л, відповідно. У цей період (з 9 по 17 добу) у гної, окрім нітрифікації проходить й денітрифікація, які зумовлюють перетворення нітритів та нітратів у газоподібну форму азоту, яка виходить у повітря. Водночас, у гної з біодеструктором це проходить на три-чотири доби швидше, що підтверджує ефективність біодеструктора у мінералізації органічних сполук та покращенню санітарно-екологічних характеристик гною. До того ж необхідно зазначити, що у гноєву ванну постійно надходять свіжі порції сечі та фекалій, які багаті на органічний азот. Тому процес амоніфікації постійно підживлюється і нітрити у гною під час його видалення з ванни на 17 добу становили  $8,2 \pm 0,5$  мг/л у контрольних пробах та  $5,1 \pm 0,3$  мг/л у гної з біодеструктором.

Отже, застосування біодеструктора сприяє більш інтенсивному та контрольованому біологічному перетворенню гною, тим самим зменшуючи потенційний негативний вплив нітритів на навколишнє середовище при його зберіганні чи внесені в ґрунт. У досліді з біодеструктором пікова концентрація нітритів у гною була нижча і спостерігається раніше (на 5 добу), ніж у контролі (на 9 добу).

Аналогічні дослідження щодо зміни концентрації нітритів у рідкому свинячому гної під час наповнення гноєвої ванни були проведені за нижчої температури навколишнього середовища –  $+ 15 - + 17$  °С, результати наведено на рис 3.11.



**Рис. 3.11.** Динаміка зміни концентрації нітритів у рідкому свинячому гної під час наповнення гноєвої ванни протягом 17 діб за температури навколишнього середовища + 15 – + 17 °С

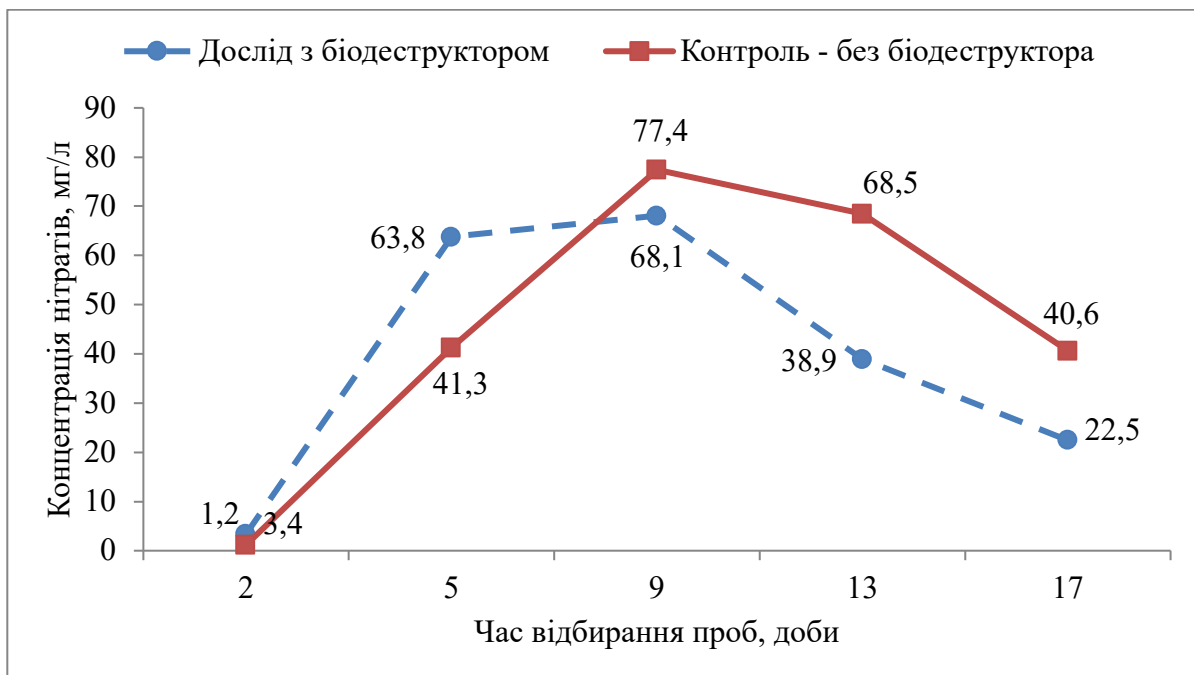
З рис. 3.11 відмічаємо, що нітрити за цієї температури у рідкому свинячому гної мали приблизно однакову динаміку накопичення до 13 доби зберігання його у гноєвій ванні з незначним зменшенням у гної, в якій вносили наш біодеструктор «Санаеро». При цьому концентрація нітритів зростала з 0,2 мг/л до  $19,7 \pm 1,4$  мг/л в дослідних пробах та  $23,8 \pm 1,9$  мг/л у контрольних. Водночас, після 13 доби у гної з мікроорганізмами біодеструктора відбувається активне зменшення їх концентрації, в середньому в 1,5 раза ( $P < 0,05$ ) до  $13,1 \pm 0,9$  мг/л при визначенні на 17 добу, очевидно розпочався інтенсивний процес денітрифікації. У контрольних пробах гною такого зменшення не відмічаємо, а динаміка нітратів незначно зростає до  $25,1 \pm 1,9$  мг/л, тобто у цих пробах гною ще проходить нітрифікація.

Якщо порівняти динаміку нітрифікації за двох температур – високої (рис. 3.10) та нижчої (+ 15 – + 17 °С) у гної з нашим біодеструктором, то бачимо, що за температури + 20 – + 25 °С динаміка накопичення нітритів у гною була активна вже до п'ятої доби ( $17,5 \pm 0,8$  мг/л), а потім розпочинався інтенсивний процес денітрифікації до 5,1 мг/л на 17 добу. Натомість, за температури навколишнього

середовища + 15 – + 17 °С активна нітрифікація проходила до 13 доби ( $19,7 \pm 1,4$  мг/л) з наступною денітрифікацією до 17 доби ( $13,1 \pm 0,9$  мг/л). Це вказує, що у гної в холодний період у гноєвій ванні наявна більша кількість токсичних форм азоту – нітритів.

Отже, застосування розробленого біодеструктора «Санаеро» дозволяє покращити показники гною у гноєвій ванні як у літній, так і в холодний період року.

Нітрати в азотному циклі формуються пізніше, ніж нітрити, до того ж вони у помірних кількостях є бажаними у гної, оскільки рослини використовують нітратну форму азоту. Натомість нітрити є токсичними для рослин. Тому актуально поряд із нітритами було визначити динаміку вмісту нітратів у рідкому свинячому гної під час наповнення гноєвої ванни протягом 17 діб за температури навколишнього середовища + 20 – + 25 °С (3.12).



**Рис. 3.12.** Динаміка зміни вмісту нітратів у рідкому свинячому гної під час наповнення гноєвої ванни протягом 17 діб за температури навколишнього середовища + 20 – + 25 °С

З рис. 3.12 спостерігаємо, що нітрати у рідкому свинячому гної у гноєвій ванні мають іншу динаміку, ніж нітрити у перші доби у гної мало нітратів бо азот присутній у формі амонію/аміаку. Водночас, мікроорганізми у гної з

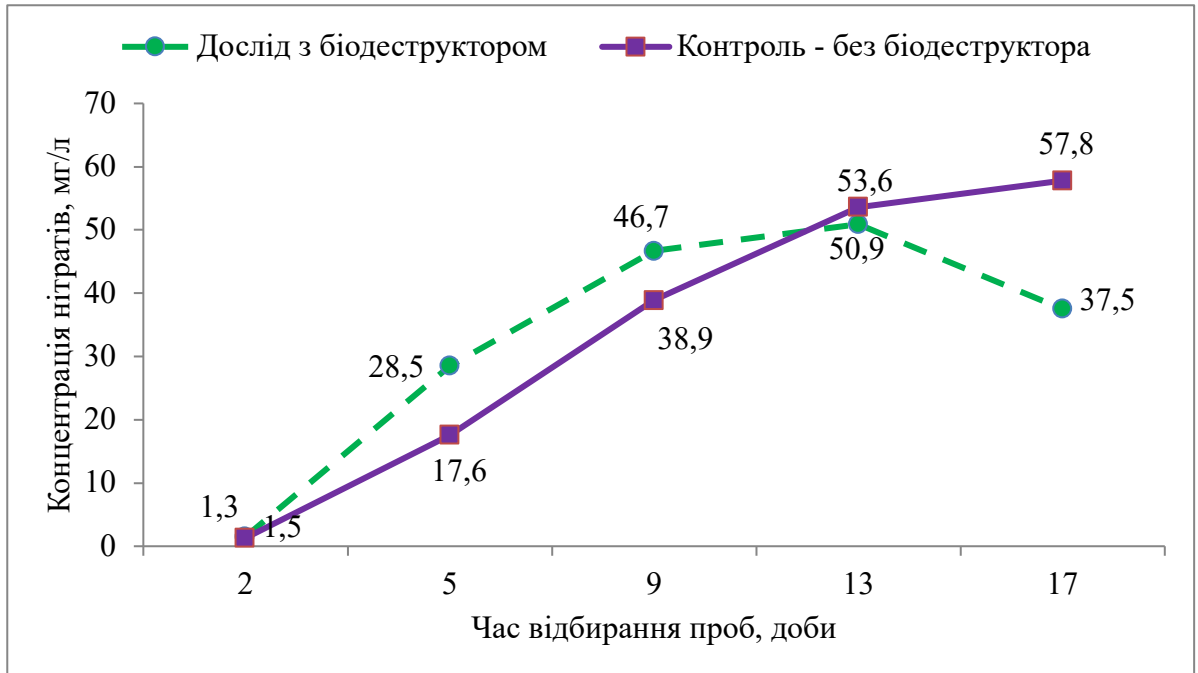
біодеструктором «Санаеро» починають активізуватися й проходить швидший мікробіологічний процес, який призводить до інтенсивного накопичення нітритів і відповідно й нітратів.

Зокрема, протягом 5 діб концентрація нітратів зросла у дослідному гної з біодеструктором до  $63,8 \pm 4,1$  мг/л, а у контролі – до  $41,3 \pm 3,3$  мг/л, тобто в середньому в 1,5 раза ( $P < 0,05$ ) був нижчий вміст нітратів, що свідчить про інтенсивнішу нітрифікацію, участь в якій приймають корисні бактерії роду *Nitrobacter*.

З 5 по 9 добу у дослідному гної процес перетворення нітритів у нітрати не мав тенденції до інтенсифікації, що вказує на ранній процес денітрифікації, який посилювався після 10 доби. Натомість, у контрольному гної без біодеструктора нітрати інтенсивно наростали до 9 доби, а процес денітрифікації починався з 10 доби, це вказує, що мікроорганізми біодеструктора швидше денітрифікують нітрати в азот, або спричиняють сорбцію азотовмісних сполук. Водночас постійне надходження нових порцій гною не забезпечує повний денітрифікуючий процес, оскільки на 17 добу концентрація нітратів у дослідному гної становила  $22,5 \pm 0,8$  мг/л та практично в 2 рази ( $P < 0,05$ ) більший вміст у контрольному –  $40,6 \pm 2,9$  мг/л.

Таким чином результати цього дослідження підсумовують, що мікроорганізми біодеструктора «Санаеро» позитивно впливають на оптимізацію азотного балансу у гної за рахунок зменшення нітритного та нітратного навантаження та стабілізації інших форм азоту.

На рис. 3.13 наведено зміни вмісту нітратів у рідкому свинячому гної під час наповнення гноєвої ванни протягом 17 діб за нижчої температури навколишнього середовища  $+15 - +17$  °C.



**Рис. 3.13.** Динаміка зміни вмісту нітратів у рідкому свинячому гної під час наповнення гноєвої ванни протягом 17 діб за температури навколишнього середовища + 15 – + 17 °C

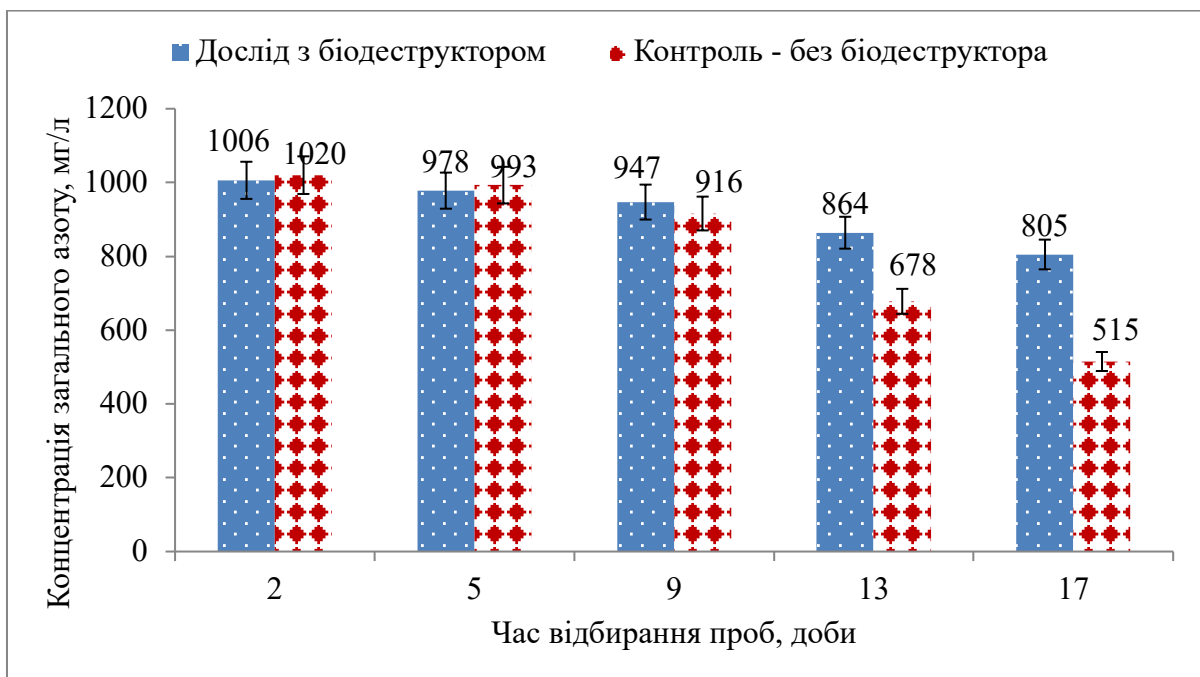
З рис. 3.13 відмічаємо аналогічну криву зміни вмісту нітратів у гної з біодеструктором «Санаеро», як за температури + 20 – + 25 °C, проте вона мала повільнішу динаміку в часі, що пов'язано з впливом температури на метаболізм мікробіоти гною. Зокрема, видно що після інтенсивного періоду накопичення нітратів до 9 доби з  $1,3 \pm 0,2$  мг/л до  $46,7 \pm 3,1$  мг/л наявна фаза стабілізації до 13 доби – концентрація нітратів –  $50,9 \pm 3,3$  мг/л та поступове зменшення в 1,3 раза ( $P < 0,05$ ) на 17 добу вимірювання. Це свідчить, що спочатку проходять інтенсивні процеси нітратного окислення нітритів до нітратів у гної з біодеструктором протягом дев'яти діб наповнення гнойових ванн, а потім поступово починають переважати процеси денітрифікації (перетворення нітратів у азот). За температури + 20 – + 25 °C процеси інтенсивного перетворення нітритів до нітратів з біодеструктором «Санаеро» проходили тільки до 5 доби, а з п'ятої до дев'ятої доби відмічали фазу стабілізації та інтенсивну фазу денітрифікації з дев'ятої доби.

У контрольному гної без біодеструктора за температури + 15 – + 17 °C реєстрували повільне накопичення нітратів упродовж усього періоду

накопичення гною у гноєвій ванні. Зокрема на 17 добу їх кількість становила  $57,8 \pm 4,3$  мг/л, що в середньому в 1,3 раза ( $P < 0,05$ ) менша кількість, ніж у гної з біодеструктором у цей період.

Загалом, за нижчої температури навколишнього середовища, мікроорганізми нашого біодеструктора метаболічно активні, водночас процеси перетворення нітритів у нітрати проходять повільніше.

Визначення концентрації загального азоту у рідкому свинячому гної під час наповнення гноєвої ванни з біодеструктором та без нього дозволяє побачити й обґрунтувати повну картину перетворення азоту. Загальний азот – це сума, яка складається з органічного азоту (наявний у білках та амінокислотах, тощо), амонійного ( $\text{NH}_4^+$ ), нітритного ( $\text{NO}_2^-$ ), нітратного ( $\text{NO}_3^-$ ) та летких форм азоту ( $\text{NH}_3$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ) (Li et al., 2012; Meng et al., 2021; Xiong et al., 2023). Результати визначення концентрації загального азоту у ванній з біодеструктором «Санаеро» та без нього наведено на рис. 3.14.



**Рис. 3.14.** Динаміка зміни вмісту загального азоту у рідкому свинячому гної під час наповнення гноєвої ванни протягом 17 діб за температури навколишнього середовища + 20 – +25 °С

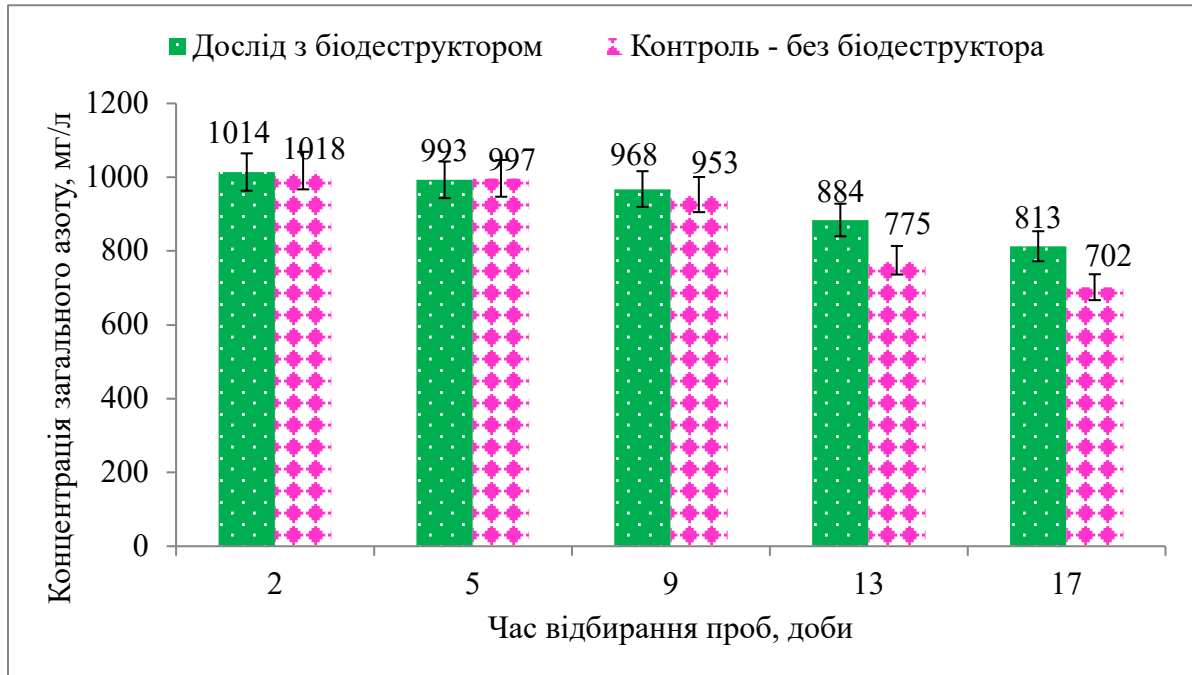
З рис. 3.14 відмічаємо, що у перші п'ять діб наповнення гною концентрація загального азоту зменшується повільно, як у дослідних пробах, так і в контрольному гної. Починаючи з 13 доби відмічаємо інтенсивніші процеси щодо зменшення загального азоту у двох варіантах досліду, водночас у гної без біодеструктора концентрація азоту була нижча і становила  $678 \pm 38,3$  мг/л, проти  $864 \pm 45,6$  мг/л у дослідному гної за використання нашого біодеструктора «Санаеро».

На 17 добу дослідження різниця між вмістом загального азоту у контрольному гної та дослідному із мікроорганізмами біодеструктора була більш чітко виражена. Зокрема у гної з біодеструктором «Санаеро» концентрація загального азоту становила  $805 \pm 41,7$  мг/л, що в середньому в 1,6 раза ( $P < 0,05$ ) вище, ніж у гної без біодеструктора –  $515 \pm 34,8$  мг/л. Це свідчить про інтенсивніші втрати азоту у гної без біодеструктора внаслідок виділення аміаку та денітрифікації, до того ж мікроорганізми біодеструктора затримують азот у гної.

Отже, застосування біодеструктора істотно впливає на уповільнення втрат загального азоту через різні мікробіологічні й біохімічні процеси, забезпечуючи таким чином його триваліший обіг у рідкому гної. Це має практичне значення щодо використання його як добрива, оскільки зберігає більшу поживну цінність та зменшує негативний вплив на довкілля.

Для мікробної ферментації поживних речовин необхідне джерело азоту, як для синтезу бактеріальних білків, так і для забезпечення мікроорганізмів енергією. Адже мікроорганізми відіграють вирішальну роль у компостуванні гною, беручи участь у циклах вуглецю та азоту через метаболічні перетворення та біодеградацію. Численні дослідження показали, що інокуляція мікробних штамів може збільшити чисельність корисних мікробних видів, зменшити шкоду, пов'язану з азотом, і покращити якість кінцевого продукту (Yamamoto et al., 2009; Yamamoto & Nakai 2019; Matiz-Villamil et al., 2023).

Результати досліджень щодо зміни вмісту загального азоту у гної з біодеструктором «Санаеро» під час заповнення гноєвої ванни за нижчої температури  $+ 15 - + 17$  °C наведено на рис. 3.15.



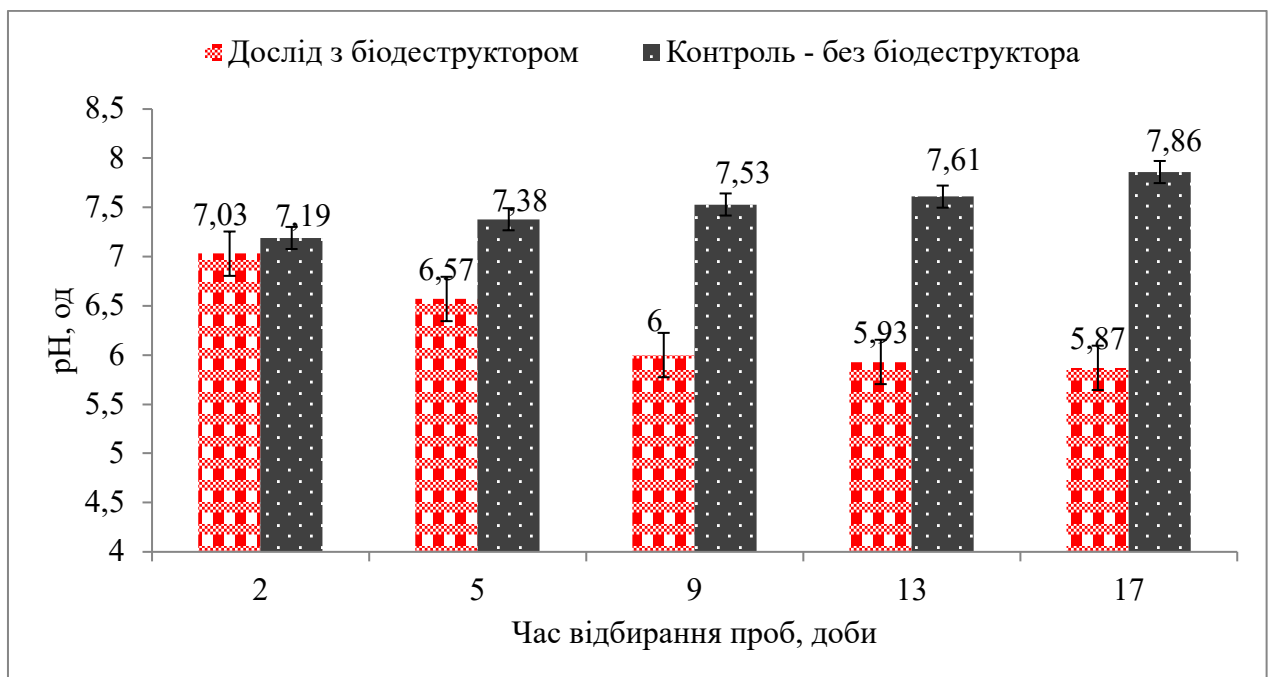
**Рис. 3.15.** Динаміка зміни вмісту загального азоту у рідкому свинячому гної під час наповнення гноєвої ванни протягом 17 діб за температури навколишнього середовища + 15 – + 17 °С

З рис. 3.15 спостерігаємо, що протягом п'яти діб наповнення гноєвої ванни концентрація загального азоту суттєво не змінювалася, як у дослідному гної з мікроорганізмами біодеструктора, так і в контрольному без них, водночас динаміка мала повільне зниження в обох варіантах дослідження. Зокрема, на 13 добу вимірювання концентрація загального азоту у гної з біодеструктором «Санаеро» зменшилася до  $884 \pm 31,5$  мг/л, а у контрольному – до  $775 \pm 28,8$  мг/л. Тобто у дослідному гної концентрація загального азоту була в середньому на 100 мг/л більша, що свідчить про вплив мікроорганізмів біодеструктора на зменшення втрат азоту в гної. На 17 добу вимірювання значення загального азоту становили  $813 \pm 34,6$  мг/л в дослідному гної, проти  $702 \pm 30,1$  мг/л в контрольному.

Загалом необхідно відзначити, що схожа динаміка щодо зменшення загального азоту реєструвалася у гної з гноєвої ванни за вищої температури навколишнього середовища (+ 20 – + 25 °С) з різницею тільки в тому, що в контрольному гної втрати були суттєвіші. Так, на 17 добу дослідження вміст загального азоту в дослідному гної становив  $805 \pm 41,7$  мг/л, а у контрольному –  $515 \pm 34,8$  мг/л. Це свідчить, що мікроорганізми застосованого біодеструктора

впливають на різні біохімічні процеси, які сприяють затриманню азоту в гної й тим самим підвищують його цінність та менше забруднюється повітря в приміщенні.

Загальноновизнано, що величина рН рідкого свинячого гною у гноєвій ванні вважається одним із найважливіших показників, який впливає на інтенсифікацію азотних перетворень, активність мікробіологічного процесу та летких втрат азоту. Тому визначення рН середовища рідкого свинячого гною із ванни під час її наповнення за двох варіантів досліду мало на меті з'ясувати вплив цього показника на можливість формування запаху. Результати наведено на рис. 3.16.



**Рис. 3.16.** Динаміка зміни рН у рідкому свинячому гної під час наповнення гноєвої ванни протягом 17 діб за температури навколишнього середовища + 20 – + 25 °С

З рис. 3.16 спостерігаємо різницю у динаміці величини рН між двома варіантами досліду протягом усього періоду наповнення гноєвої ванни свинячим гноєм. Зокрема, у дослідному гної з біодеструктором тенденція має до поступового зниження рН середовища у кислий бік, а у контрольному гної до поступового зростання у лужну сторону. У дослідних пробах гною рН на п'яту

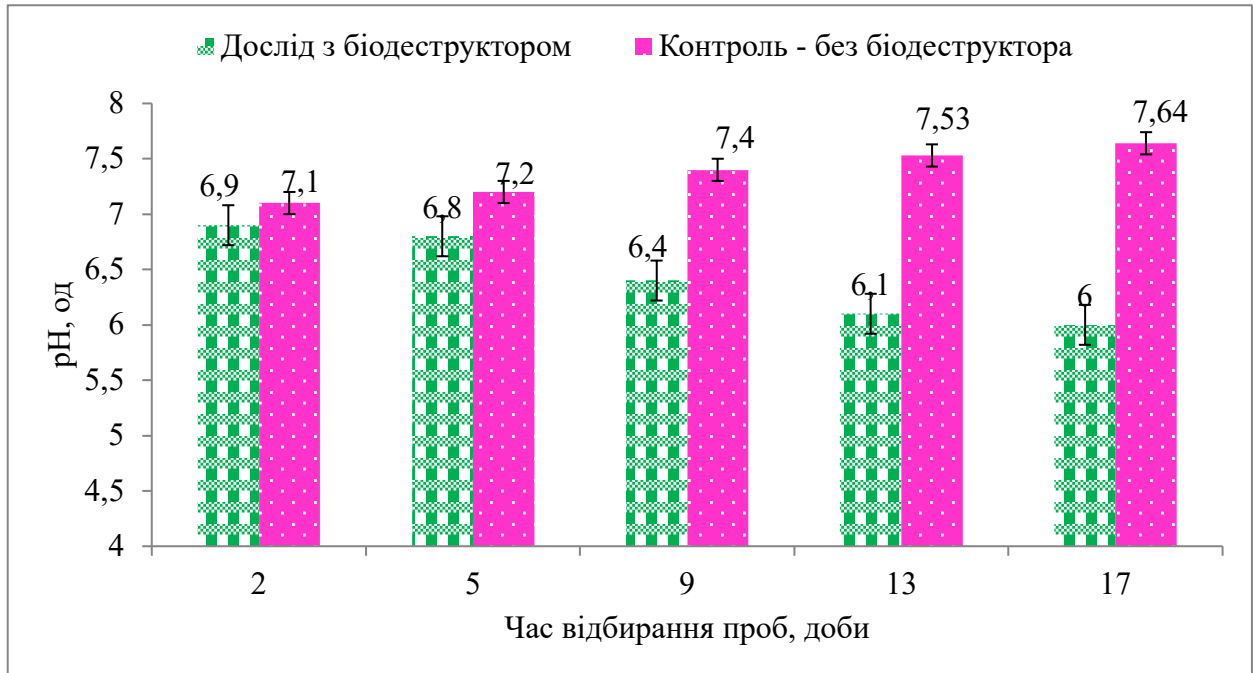
добу зменшилася до  $6,57 \pm 0,21$  од, а у контрольних зросла до  $7,38 \pm 0,23$ . Зростання рН у лужну сторону у контрольних пробах пояснюється накопиченням аміаку, яке інтенсивно відбувається через розпад органічних білкових сполук, а у дослідних пробах з біодеструктором «Санаеро» через утворення органічних кислот (розмноження молочнокислих бактерій), нітрифікацію та накопичення  $\text{CO}_2$ .

Так, протягом 13 – 17 доби дослідження різниця між величиною рН між дослідним та контрольним гноем становила приблизно одиницю. У цей період у контрольному гної інтенсивно накопичується аміак та відбуваються великі втрати азоту, водночас у дослідних пробах з біодеструктором завдяки активній нітрифікації, при якій утворюється  $\text{H}^+$  відбувається зниження рН. Це гальмує втрати аміаку і створює кращі умови для утворення нітратів, тобто переходу нітритів у нітрати.

Отже, мікроорганізми біодеструктора знижують рН гною у кислу сторону за його накопичення у гноєвій ванні, тим самим гальмують процеси перетворення азоту в аміак, що позитивно впливає на викид його в навколишнє середовище.

Температура навколишнього середовища впливає на метаболітичну активність мікроорганізмів гною й тим самим на рівень його рН, що має важливий вплив на кругообіг азоту. Результати зміни рН у рідкому свинячому гної під час наповнення гноєвої ванни протягом 17 діб за температури навколишнього середовища  $+15 - +17$  °C наведено на рис. 3.17.

З рис. 3.17 видно протилежно різну динаміку зміни величини рН у дослідних та контрольних пробах гною, яка характеризувалася зсувом у кислу сторону в гною з біодеструктором «Санаеро» і зростанням у лужну сторону у контролі протягом усього періоду наповнення гноєвої ванни. Так, спостерігаємо зниження рН гною з мікроорганізмами біодеструктора з 6,9 од. на другу добу вимірювання до 6,0 – на 17 добу, а у контрольному гної з 7,1 до 7,64 од, відповідно.

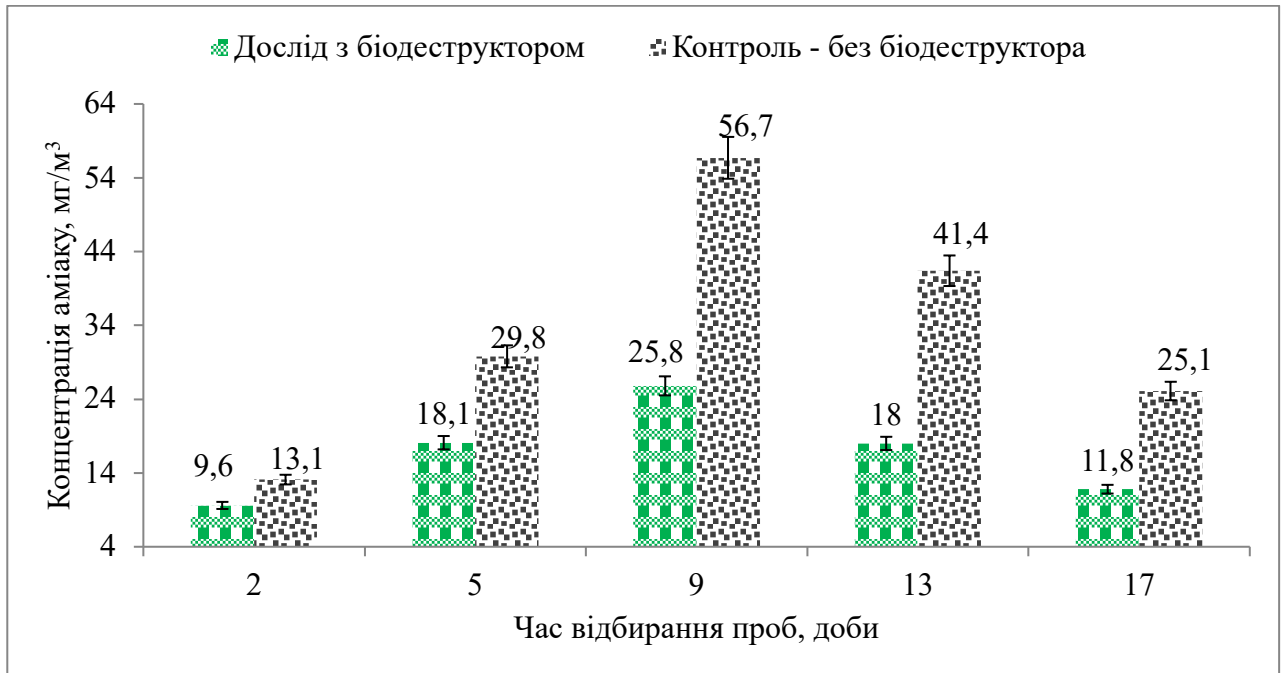


**Рис. 3.17.** Динаміка зміни рН у рідкому свинячому гної під час наповнення гноєвої ванни протягом 17 діб за температури навколишнього середовища +15 – +17 °С

При порівнянні динаміки зміни рН гною за вищої температури (+20 – +25 °С) відмічаємо швидше зсування, як у кислу (дослід), так і в лужну сторону (контроль). Зокрема, за температури (+20 – +25 °С) на 17 добу рН було 5,87 – у гної з біодеструктором та 7,86 – без нього. Тобто, висока температура прискорює розвиток як молочнокислої мікрофлори гною у досліді, так і гнильної у контролі. Саме завдяки зміні рН відбувається перетворення азоту у різні форми, зокрема пришвидшує перехід амонійного азоту в аміак за лужного середовища. Тому можна відзначити, що запропоновані мікроорганізми у складі нашого біодеструктора активно знижують рН й за температури +15 – +17 °С навколишнього середовища.

Аміак у повітрі приміщень свинарників є ключовим показником екологічної безпеки та комфортності тварин і працівників. Його концентрація у повітрі тісно пов'язана з тим, які процеси проходять у гної в гноєвій ванні під час її наповнення. Оскільки дані попередніх дослідів показали, що концентрація амонію – аміаку у гної залежить від рН, температури та турбулентності. Тобто

чим вище рН гною, тим швидше і більше аміаку переходить у газоподібну форму і випаровується у повітря. Тому доцільно було провести дослідження у порівняльному аспекті щодо зміни вмісту аміаку у повітрі приміщень для утримання свиней під час наповнення гноєвої ванни протягом 17 діб за температури навколишнього середовища + 20 – + 25 °С. Результати наведено на рис. 3.18.



**Рис. 3.18.** Динаміка зміни аміаку у повітрі приміщень для утримання свиней під час наповнення гноєвої ванни протягом 17 діб за температури навколишнього середовища + 20 – 25 °С

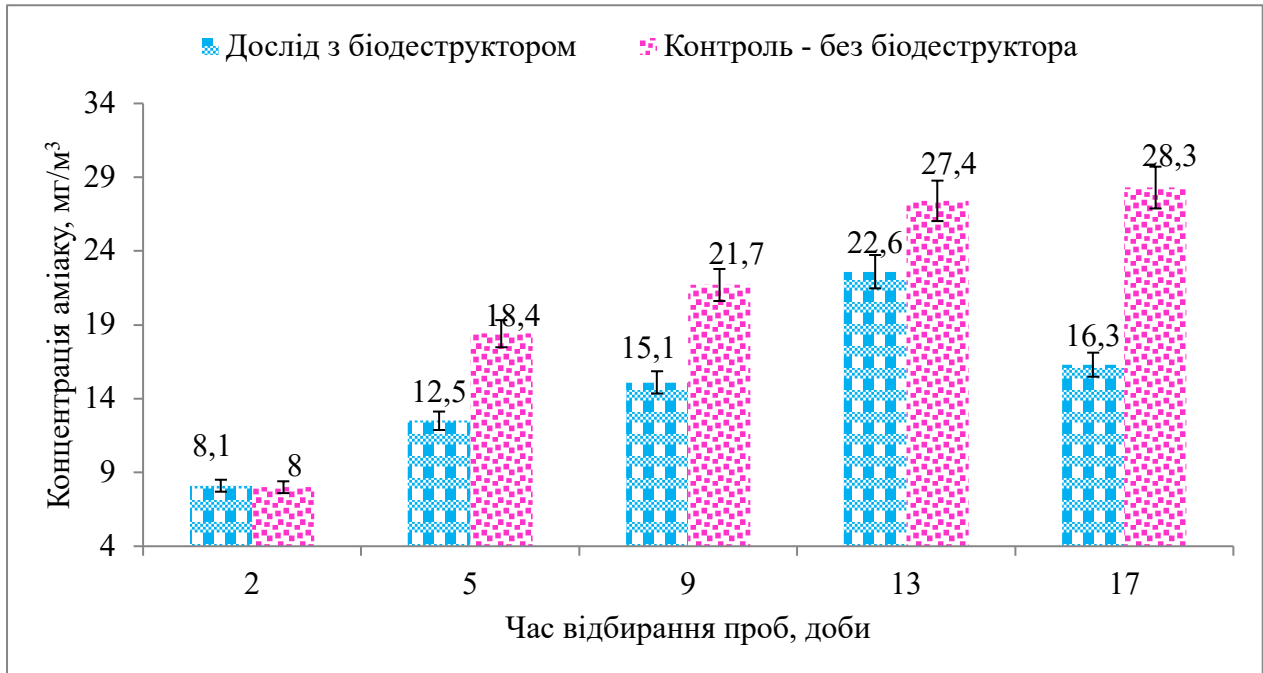
З рис. 3.18 спостерігаємо чітку відмінність у концентрації аміаку у повітрі між двома варіантами приміщень – дослідних і контрольних. При цьому у контрольних й дослідних приміщеннях динаміка зростання вмісту аміаку в повітрі реєструвалася до дев'ятої доби проведення дослідів, а приблизно з 10 доби вона мала тенденцію щодо зниження. Водночас у приміщеннях, у яких застосовували біодеструктор, концентрація аміаку була значно нижчою на всіх етапах вимірювання, ніж у повітрі контрольних проб. Зокрема, на п'яту добу дослідження концентрація аміаку у дослідних приміщеннях була в 1,6 раза ( $P < 0,05$ ) нижча, ніж у повітрі контрольних проб і становила  $18,1 \pm 1,1$  мг/м<sup>3</sup> та  $29,8 \pm 1,7$  мг/м<sup>3</sup>, відповідно. Найвищу концентрацію аміаку було зафіксовано на

дев'яту добу у контрольних пробах повітря, яка становила  $56,7 \pm 3,9$  мг/м<sup>3</sup> та в 2,1 раза ( $P < 0,05$ ) меншу концентрацію ( $25,8 \pm 1,7$  мг/м<sup>3</sup>) у приміщеннях, у яких добавляли розроблений нами біодеструктор «Санаеро» до гноєвої ванни. Надалі спостерігали поступове зменшення концентрації аміаку у контрольних й дослідних приміщеннях, так на 17 добу дослідження вміст аміаку становив  $25,1 \pm 1,6$  мг/м<sup>3</sup> у повітрі в контролі та  $11,8 \pm 0,8$  мг/м<sup>3</sup> у повітрі досліди, тобто в середньому в 2,1 раза ( $P < 0,05$ ) була нижча концентрація аміаку за використання біодеструктора «Санаеро» до гноєвої ванни. Такі результати свідчать про активніше виділення газоподібного аміаку з гною в повітря у контролі та повільніше у досліди з використанням біодеструктора. Тобто починаючи з п'ятої доби і практично до закінчення концентрація аміаку у контрольних приміщеннях була в 1,4 – 2,8 раза ( $P < 0,05$ ) вища, ніж допустима норма у 20 мг/м<sup>3</sup> для свиней на відгодівлі. За такого результату вмісту аміаку повинна активно працювати вентиляція, яка буде його видаляти на зовні, натомість поза приміщеннями аміак буде розноситися на значну територію і спричиняти неприємний запах для навколишніх сіл.

У повітрі дослідних приміщень відмічали максимальне пікове зростання аміаку до  $25,8 \pm 1,7$  мг/м<sup>3</sup>, тобто в 1,2 раза більше нормативу тільки на дев'яту добу під час застосування біодеструктора.

Отже, додавання до гноєвої ванни біодеструктора «Санаеро» ефективно впливає на зменшення виділення аміаку у повітря, тобто автоматично покращує мікроклімат у приміщенні за цим показником та знижує його токсичне навантаження на тварин та навколишнє середовище.

Оцінка концентрації аміаку у повітрі приміщень за застосування біодеструктора «Санаеро» у холодний період року за температури + 15 – +17 °С наведена на рис. 3.19.



**Рис. 3.19.** Динаміка зміни вмісту аміаку у повітрі приміщень для утримання свиней під час наповнення гноєвої ванни протягом 17 діб за температури навколишнього середовища + 15 – + 17 °С

З рис. 3.19 видно зростання вмісту аміаку у приміщенні свинарників за двох варіантів досліду, водночас у приміщенні в якому застосовували біодеструктор «Санаеро», концентрація в повітрі зростала з  $8,1 \pm 0,6$  мг/м<sup>3</sup> на другу добу вимірювання і досягала пікового значення  $22,3 \pm 1,5$  мг/м<sup>3</sup> на 13 добу дослідження, надалі аміак у повітрі зменшився до  $16,3 \pm 1,2$  мг/м<sup>3</sup> – 17 добу. У повітрі в контролі відмічали також поступове зростання аміаку з  $8,0 \pm 2,7$  мг/м<sup>3</sup> (дуга доба) до  $28,3 \pm 1,9$  мг/м<sup>3</sup> (17 доба). При цьому з 9 до 17 доби дослідження концентрація аміаку у повітрі в контрольних приміщеннях перевищувала регламентований санітарно-гігієнічний норматив до 20 мг/м<sup>3</sup>. Це свідчить, що мікроорганізми застосованого біодеструктора гальмували процеси перетворення азоту у газоподібну форму аміаку, оскільки в дослідних приміщеннях його концентрація була нижчою.

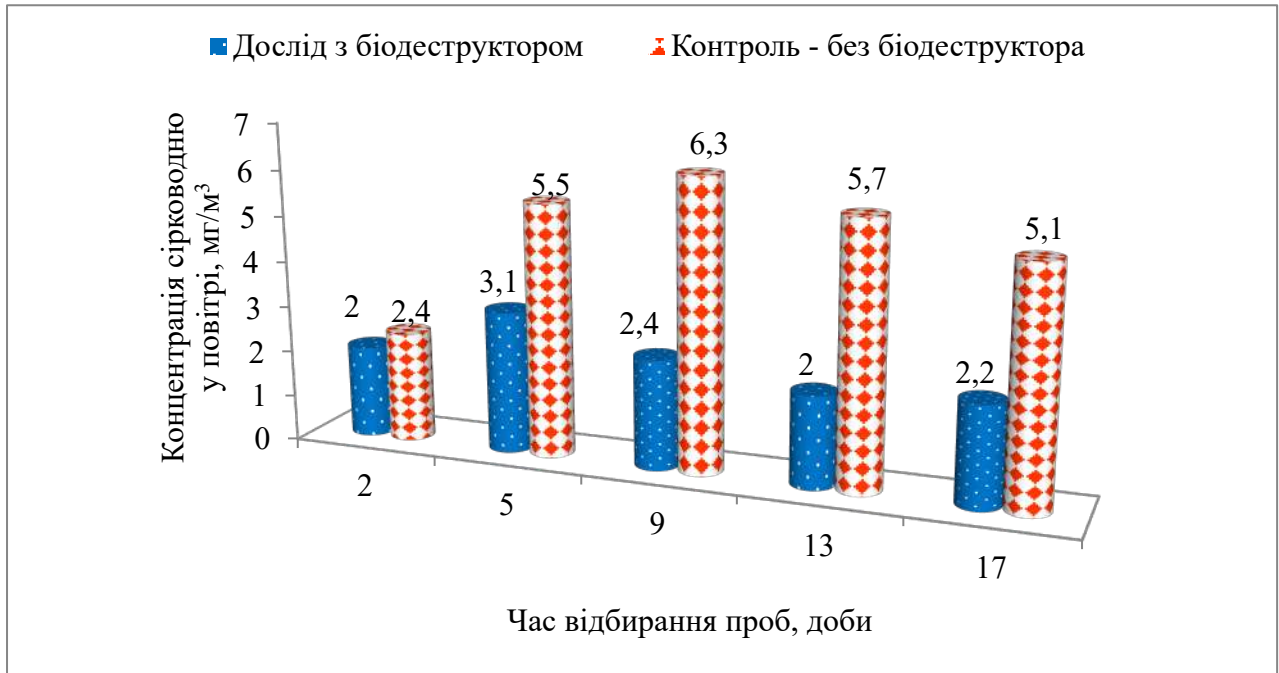
Якщо порівняти концентрацію аміаку в повітрі за високої і низької температури навколишнього середовища, то відмічаємо приблизно однакову динаміку його за двох температур впродовж всього періоду наповнення гноєвої

ванни із застосуванням біодеструктора «Санаеро». У контрольних приміщеннях за вищої температури концентрація аміаку була вища ніж за температури +15 – + 17 °С, що свідчить про інтенсивніші процеси розпаду азоту з вивільненням його у повітря.

Отже застосування біодеструктора «Санаеро» до гною дозволяє знизити виділення аміаку у повітря, як за високої температури навколишнього середовища (+ 20 – +25 °С), так і нижчої (+15 – + 17 °С). До того ж це дозволяє не перевищувати гранично допустиму концентрацію аміаку у повітрі свинарників за відгодівлі свиней.

### **3.4. Характеристика динаміки накопичення сірководню у повітрі свинарників за використання біодеструктора «Санаеро» під час наповнення гноєвої ванни протягом року**

Для повнішої характеристики дії мікроорганізмів застосованого нашого біодеструктора «Санаеро» було визначено динаміку накопичення сірководню у повітрі свинарників за його додавання до гною. Оскільки сірководень – це токсичний газ з різким неприємним запахом (тухлих яєць), який є небезпечний як для довкілля, так і для здоров'я людей й тварин. Специфіка накопичення сірководню у тваринницьких приміщеннях полягає в тому, що він утворюється в гної в анаеробних умовах, коли мікроорганізми розкладають органічну речовину без доступу кисню, особливо при розпаді білків, що містять сірку (Wi et al., 2020; Tabase et al., 2020). Гранично допустима концентрація цього «тухлого» газу у свинарниках за відгодівлі свиней згідно ДСН 3.36.042-99 становить не більше 10 мг/м<sup>3</sup> повітря. Результати дослідження впливу біодеструктора «Санаеро» на концентрацію сірководню у приміщенні для відгодівлі свиней за температури навколишнього середовища +20 – +25 °С наведено на рис. 3.20.



**Рис. 3.20.** Динаміка зміни вмісту сірководню у повітрі свинарників за використання біодеструктора «Санаеро» під час заповнення гноєвої ванни за температури навколишнього середовища + 20 – + 25 °С

З рис. 3.20. видно, що мікроорганізми біодеструктора «Санаеро» сприяють зменшенню виділення сірководню у навколишнє середовище, оскільки проглядається позитивна динаміка, порівнюючи з приміщеннями в яких не використовували біодеструктор.

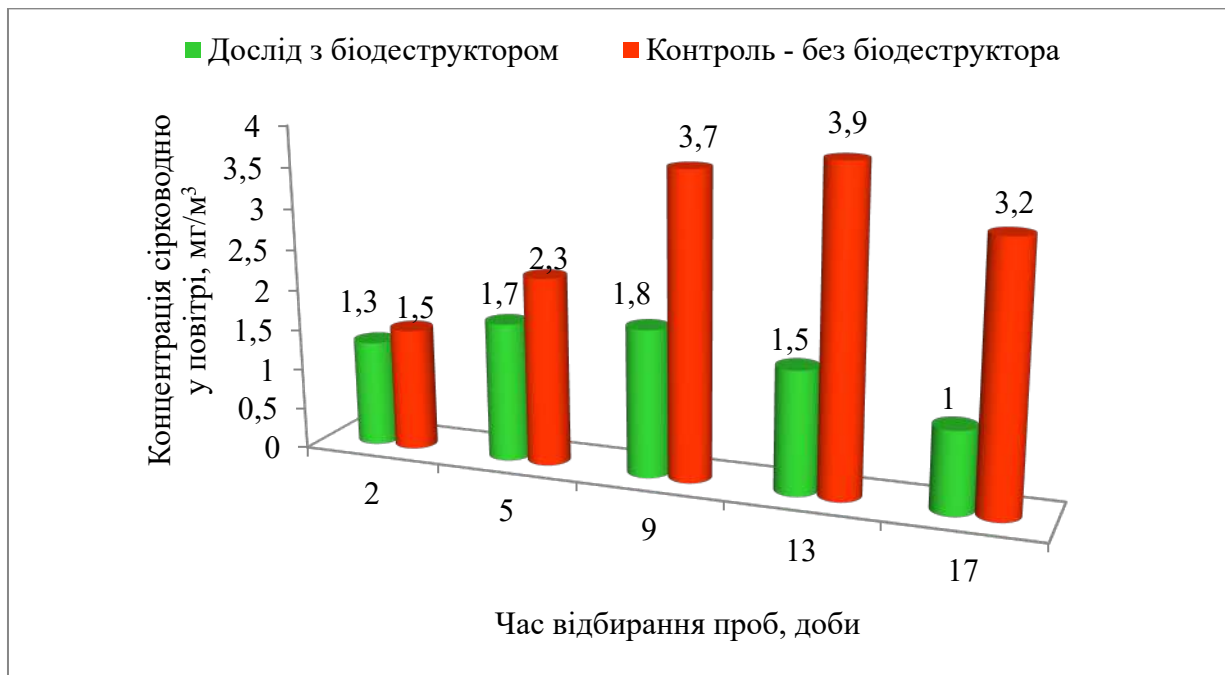
Зокрема, відмічаємо, що по мірі наповнення гноєвої ванни до п'ятої доби концентрація сірководню збільшувалася в обох варіантах з  $2,0 \pm 0,1$  до  $3,1 \pm 0,2$  мг/м<sup>3</sup> у дослідному повітрі, та з  $2,4 \pm 0,2$  до  $5,5 \pm 0,3$  мг/м<sup>3</sup>.

Тобто у цей період концентрація сірководню була в 1,7 раза ( $P < 0,05$ ) вища у приміщеннях без застосування біодеструктора. Це свідчить про те, що мікроорганізми біодеструктора «Санаеро» пригнічують активність анаеробної мікрофлори гною, яка приймає участь в розкладі органіки з утворенням сірководню. Очевидно мікроорганізми біодеструктора запускають альтернативні, менш токсичні біохімічні шляхи розкладу органічних сполук гною. Надалі з 5 до 17 доби динаміка накопичення сірководню у повітрі досліджених приміщень поступово знижувалася, так на 13 та 17 добу концентрація сірководню становила  $2,0 \pm 0,2$  та  $2,2 \pm 0,2$  мг/м<sup>3</sup>, відповідно.

У повітрі контрольних приміщень концентрація сірководню не зазнавала суттєвих змін і становила в межах  $6,3 \pm 0,3$  мг/м<sup>3</sup> (9 доба) та  $5,1 \pm 0,2$  мг/м<sup>3</sup> (17 доба). Тобто протягом цього періоду концентрація сірководню у приміщеннях, в яких застосовували біодеструктор «Санаеро» було в 2,7 – 2,3 раза ( $P < 0,05$ ) нижча, ніж у тих приміщеннях, у яких біодеструктор не застосовували. Водночас необхідно відзначити, що в обох варіантах у повітрі приміщень концентрація сірководню не перевищувала 10 мг/м<sup>3</sup> – ГДК для свиней на відгодівлі.

Отже, оброблення гною у свинарниках біодеструктором «Санаеро» дозволяє суттєво зменшити утворення сірководню (в 2 – 3 рази) за температури навколишнього середовища + 20 – +25 °С. Це дозволяє покращити санітарний стан приміщень, зменшити запах та шкідливі викиди.

Як було показано в попередніх дослідях температура навколишнього середовища впливає на активність мікроорганізмів гною, які приймають участь в перетворенні азоту. Тому було визначено вплив застосованого біодеструктора «Санаеро» на процес утворення сірководню в гної й накопичення його в повітрі приміщень в холодний період року за температури навколишнього середовища +15 – + 17 °С. Результати наведено на рис. 3.21.



**Рис. 3.21.** Динаміка зміни вмісту сірководню у повітрі свинарників за використання біодеструктора «Санаеро» під час заповнення гноєвої ванни за температури навколишнього середовища + 15 – + 17 °С

З рис. 3.21 видно, що протягом п'яти діб зберігання гною в гноєвій ванні концентрація сірководню у повітрі дослідних приміщень зросла в 1,3 раза (з  $1,3 \pm 0,2$  до  $1,7 \pm 0,2$  мг/м<sup>3</sup>) ( $P < 0,05$ ), а у контрольних в 1,5 раза ( $P < 0,05$ ) (з  $1,5 \pm 0,2$  до  $2,3 \pm 0,2$  мг/м<sup>3</sup>). На 9 та 13 добу у дослідних приміщеннях концентрація сірководню суттєво не змінювалася, так як становила  $1,8 \pm 0,2$  та  $1,5 \pm 0,2$  мг/м<sup>3</sup>, відповідно.

Натомість на 17 добу сірководень зменшився в 1,5 раза ( $P < 0,05$ ) до  $1,0$  мг/м<sup>3</sup>, порівняно з 13 добою. У контрольних приміщеннях динаміка концентрації сірководню мала інший характер. Зокрема, з 5 по 9 добу вона зросла в 1,6 раза до  $3,7 \pm 0,3$  мг/м<sup>3</sup>, потім до 13 доби не зазнавала суттєвих змін, а на 17 добу зменшилася до  $3,2 \pm 0,2$  мг/м<sup>3</sup>. Тобто за використання біодеструктора «Санаеро» концентрація сірководню у приміщеннях з 9 по 17 добу наповнення гноєвої ванни в 2,0 та 3,2 рази ( $P < 0,05$ ) менша, ніж у повітрі приміщень, у яких гній не обробляли деструктором.

Якщо порівняти концентрацію сірководню у приміщеннях свинарників, у яких використовували біодеструктор «Санаеро» за температури  $+20 - +25$  °С з температурою  $+15 - +17$  °С, то відмічаємо, що за нижчої температури концентрація сірководню було вірогідно в 1,6 раза ( $P < 0,05$ ) нижча тільки на п'яту добу, надалі вона суттєво не відрізнялася. Це свідчить про активність мікрофлори біодеструктора навіть за нижчої температури навколишнього середовища. Водночас, у контрольних приміщеннях концентрація сірководню в літній період, в середньому була 0,5 – 2,0 рази ( $P < 0,05$ ) вища, ніж в холодний. Однак у всіх пробах повітря концентрація сірководню була значно нижча, ніж ГДК для цього газу для свиней на відгодівлі.

Отже, мікроорганізми біодеструктора «Санаеро» «працюють» ефективно у гної щодо розкладання органічних речовин, що запобігає утворенню значної кількості сірководню, як за температури навколишнього середовища  $+20 - +25$  °С та нижчої  $+15 - +17$  °С.

*Результати даних досліджень опубліковано в наступній статті:*  
**Grigorash, P. B., & Horiuk, Y. V. (2025).** Microclimate parameter dynamics in pig

housing using the biodestructor Sanaero. *Ukrainian Journal of Veterinary and Agricultural Sciences*, 8(2), 49-55. <https://doi.org/10.32718/ujvas8-2.09>

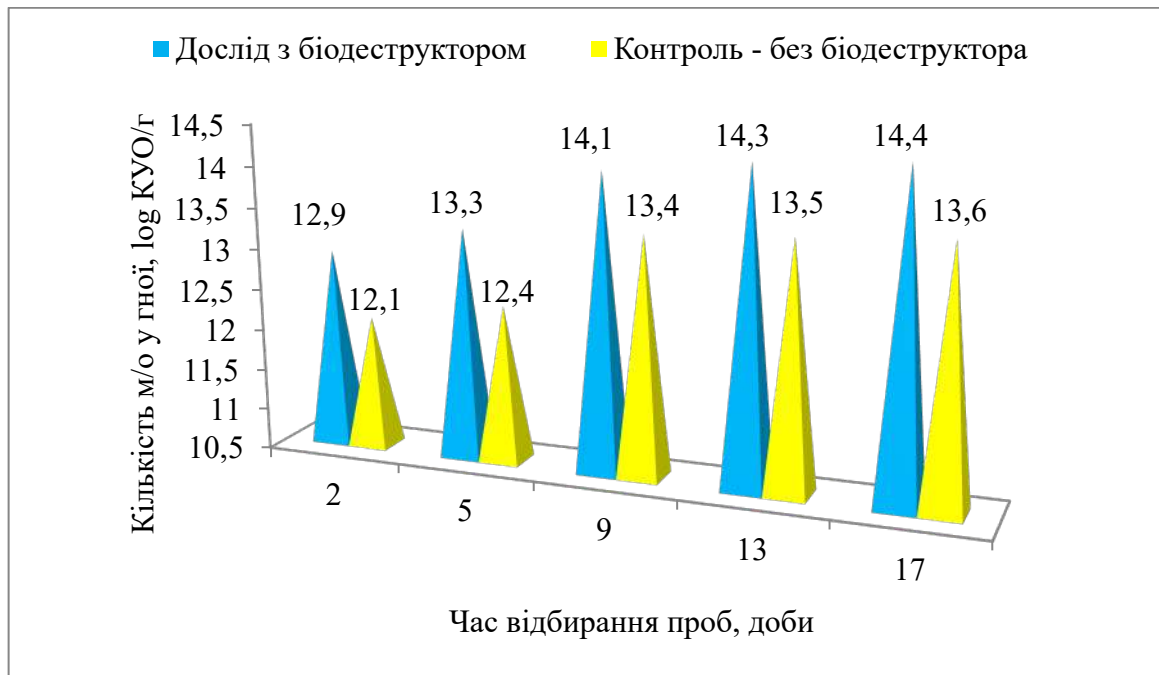
### **3.5. Характеристика мікробіологічного процесу в рідкому свинячому гної у під час наповнення гноєвої ванни за використання біодеструктора «Санаеро»**

Аеробна трансформація органіки свинячого гною може не тільки вирішити проблему забруднення відходами, але й перетворити ці відходи на добриво та раціонально використовувати поживні речовини у фекаліях, такі як органічні речовини, азот і фосфор (Li et al., 2011; Demir & Gülser 2015). Мікроорганізми безперервно катаболізують органічні сполуки, утворюючи багато метаболітів, причому деякі проміжні та кінцеві продукти виділяють летючі запахи (Ni et al., 2010; Pratt et al., 2015; Qin et al., 2021b). Перетворення органічних речовин гною у гноєвій ванні відбувається за участі мікроорганізмів. Саме завдяки розвитку та біохімічній активності мікробіоти гною відбувається розкладання субстрату з накопиченням і виділенням у навколишнє середовище тих чи інших метаболітів. Керуючи мікробіологічними процесами у гної, стимулюючи розвиток певних груп мікроорганізмів можна впливати на кількісні показники виділених у повітря газів та накопичених у гної метаболітів.

Розроблений нами біологічний деструктор гною «Санаеро» – це мікробний препарат, у якому підбрано симбіотичні, сапрофітні мікроорганізми для розкладання органічних речовин за біохімічними механізмами, які максимально знижують продукування шкідливих неприємних газів. Враховуючи це, нами було досліджено кількісні зміни окремих груп та конкретних мікроорганізмів у гної протягом наповнення гноєвої ванни.

### 3.5.1 Оцінка мікробіоти рідкого свинячого гною під час наповнення гноєвої ванни за використання біодеструктора «Санаеро» при температурі навколишнього середовища + 20 – +25 °С

Результати досліджень зміни загальної кількості мікроорганізмів у гної за оброблення його біодеструктором «Санаеро» наведено на рис 3.22.



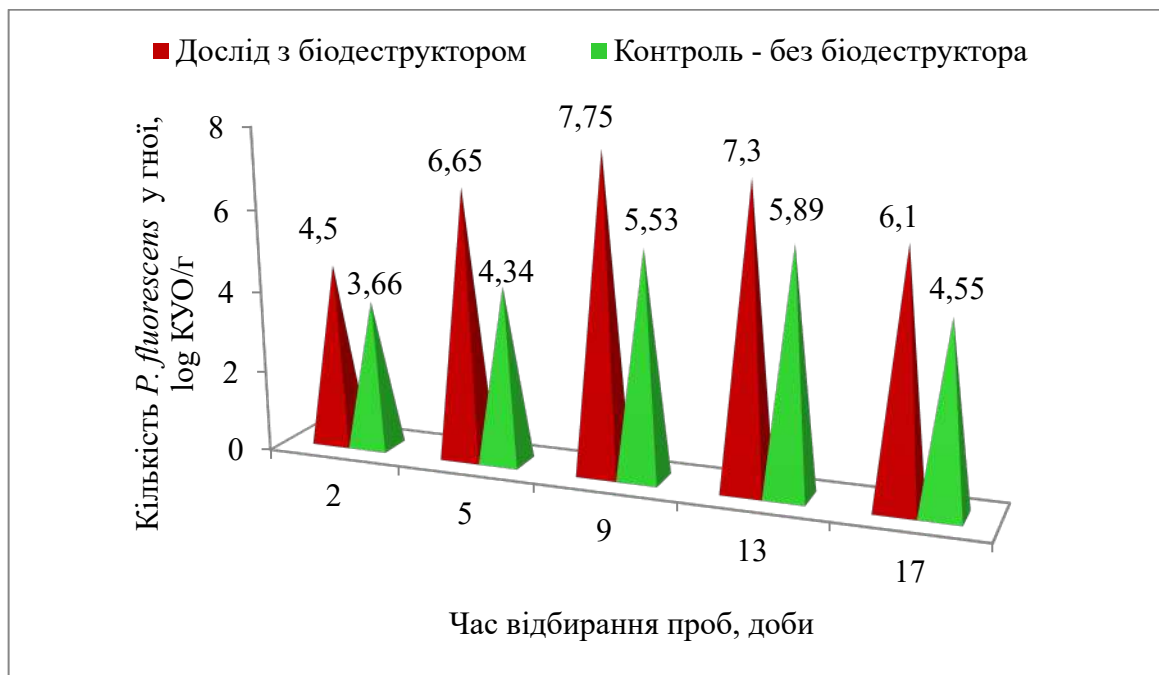
**Рис. 3.22.** Зміни загального мікробного обсягання у рідкому свинячому гної під час наповнення гноєвої ванни за використання біодеструктора «Санаеро» при температурі навколишнього середовища + 20 – + 25 °С

З рис. 3.22 спостерігаємо інтенсивніші процеси збільшення загальної кількості мікроорганізмів у гної з біодеструктором «Санаеро», порівнюючи з гноєм у контролі у літній період. Зокрема, на другу добу тривалості досліді ЗБО у гної з внесеними мікроорганізмами біодеструктора було в 4,2 раза ( $P < 0,05$ ) більше, ніж у гної в контролі й становило 12,9 та 12,1 log КУО/г, відповідно. По мірі наповнення гноєвої ванни новими порціями гною ЗБО його зростало, так на п'яту добу у гної з біодеструктором кількість мезофільних мікроорганізмів була, в середньому в 10 разів ( $P < 0,001$ ) більша (13,3 проти 12,4 log КУО/г, відповідно). Можна відзначити, що в обох варіантах досліді в цей час почали проходити інтенсивніші мікробіологічні процеси, які тривали до 17 доби

наповнення гноєвої ванни. Натомість у ванній з біодеструктором «Санаеро» ЗБО у гної з 9 по 17 добу було, в середньому 14,3 log КУО/г, а у гної без біодеструктора на один порядок нижче – 13,5 log КУО/г.

Отже, оброблення гною у свинарниках біодеструктором «Санаеро» забезпечує збільшення ЗБО приблизно на один порядок починаючи з п'ятої і до 17 доби наповнення гноєвої ванни.

У склад розробленого біодеструктора входять бактерії виду *P. fluorescens*, які є продуцентами багатьох ферментів та здатні окислювати сірководень, що призводить до зниження концентрації цього їдкого газу у повітрі свинарників, до того ж ця бактерія є антагоністом багатьох патогенних бактерій. Тому було визначено динаміку розвитку *P. fluorescens* у свинячому гної під час наповнення гноєвої ванни протягом 17 діб за температури навколишнього середовища + 20 – + 25 °С (рис. 3.23).



**Рис. 3.23.** Зміни кількості *Pseudomonas fluorescens* у рідкому свинячому гної під час наповнення гноєвої ванни за використання біодеструктора «Санаеро» при температурі навколишнього середовища + 20 – + 25 °С

З рис. 3.23 видно, що завдяки наявності у складі біодеструктора «Санаеро» бактерій *P. fluorescens* їх кількість у гної на другу добу дослідження була, в

середньому на один порядок вища ( $P < 0,001$ ), ніж у гної без біодеструктора, тобто  $4,51 \log$  КУО/г проти  $3,66 \log$  КУО/г. На п'яту добу заповнення гноєвої ванни кількість *P. fluorescens*, в середньому зросла на два порядки, в дослідному гної до  $6,65 \log$  КУО/г, а у гної в контролі на один порядок до  $4,34 \log$  КУО/г.

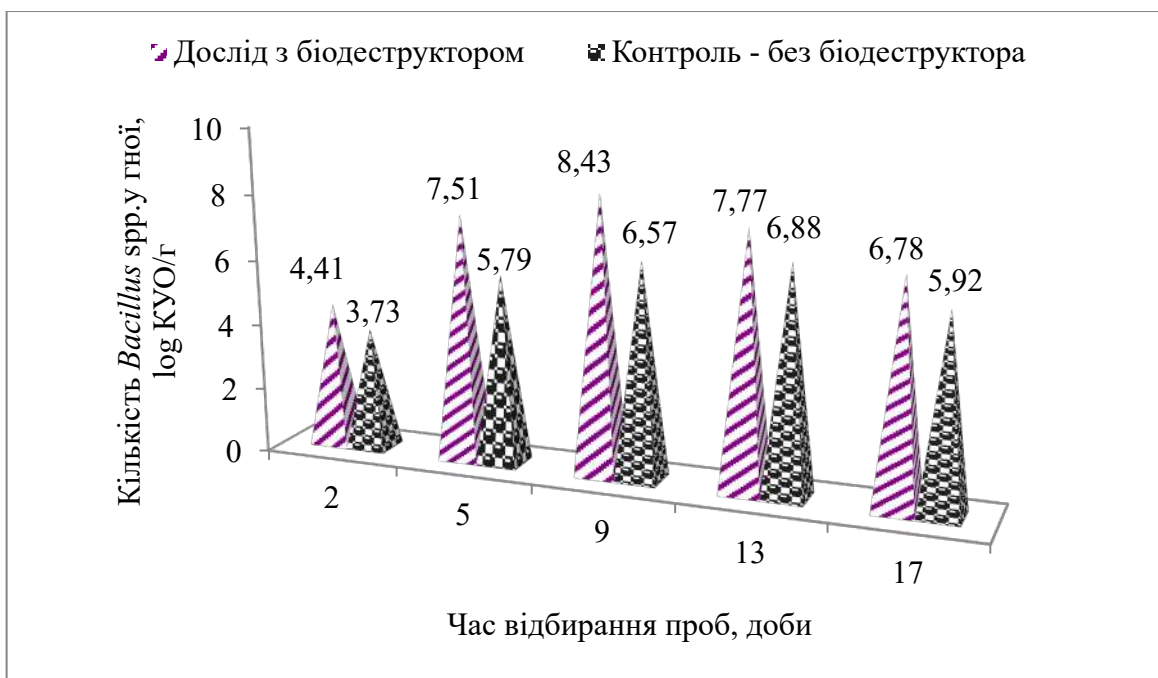
З 5 до 13 доби спостерігаємо продовження активного розмноження і зростання *P. fluorescens* у гної в досліді, у цей період часу їх кількість була, в середньому на два порядки більша, ніж у контрольному гної. Це свідчить, що бактерії добре розкладають субстрати та конкурують з анаеробними бактеріями, які продукують сірководень. Водночас після 13 доби відмічаємо поступове зменшення *P. fluorescens* у гної (на 17 добу), в середньому на один порядок, порівнюючи з 13 добою – тобто спад їх розвитку. Це є свідченням зменшення доступного кисню через наповнення гноєвої ванни рідким гноєм та початком активізування анаеробної мікрофлори.

Отже, результати вказують, що в рідкому свинячому гної за використання біодеструктора, у складі якого наявна *P. fluorescens*, настає її пік розвитку між 5 та 13 добами наповнення гноєвої ванни. У контрольному гної у цей період також відмічали найвищу кількість *P. fluorescens*, але її вміст був на два порядки нижчий, ніж у дослідному. Це очевидно впливає на утворення сірководню та накопичення його у повітрі.

Дослідження розвитку *Bacillus* spp. у рідкому свинячому гної є надзвичайно важливо, оскільки ця бацила, як складова мікробіоти нашого біодеструктора приймає участь у продукуванні різних ферментів (протеази, ліпази, амілази), які розкладають білки та целюлозу. Зменшує кількість патогенів та покращує гігієнічні показники мікроклімату. Результати активності бактерій роду *Bacillus* у свинячому гної під час наповнення гноєвої ванни з біодеструктором «Санаеро» наведено на рис. 3.24.

З рис. 3.24 відмічаємо, що уже на другу добу проведення досліді кількість клітин бацил у гної за використання біодеструктора була приблизно на один порядок вища, ніж у гної в контролі,  $4,41 \log$  КУО/г, проти  $3,73 \log$  КУО/г. Це свідчить, що бацили нашого біологічного препарату добре адаптуються до гною й активно розмножуються навіть за такий короткий період часу.

Дослідження на п'яту добу вмісту бацил виявило інтенсивніше зростання їх, як у дослідному гної, так і контрольному. Водночас у гної з біодеструктором з другої по п'яту добу кількість бактерій видів *Bacillus* spp. збільшилася більше як на три порядки, з 4,41 до 7,51 log КУО/г, а у контрольному гної без додавання біопрепарату на два порядки з 3,73 до 5,79 log КУО/г. Активне зростання і пік бацил у дослідному гної відмічали на дев'яту добу, а у контрольному на 13 добу. У цей період часу їх кількість становила 8,43 log КУО/г, проти 6,57 log КУО/г, що свідчить про інтенсивні процеси розкладання органічних речовин і целюлози.



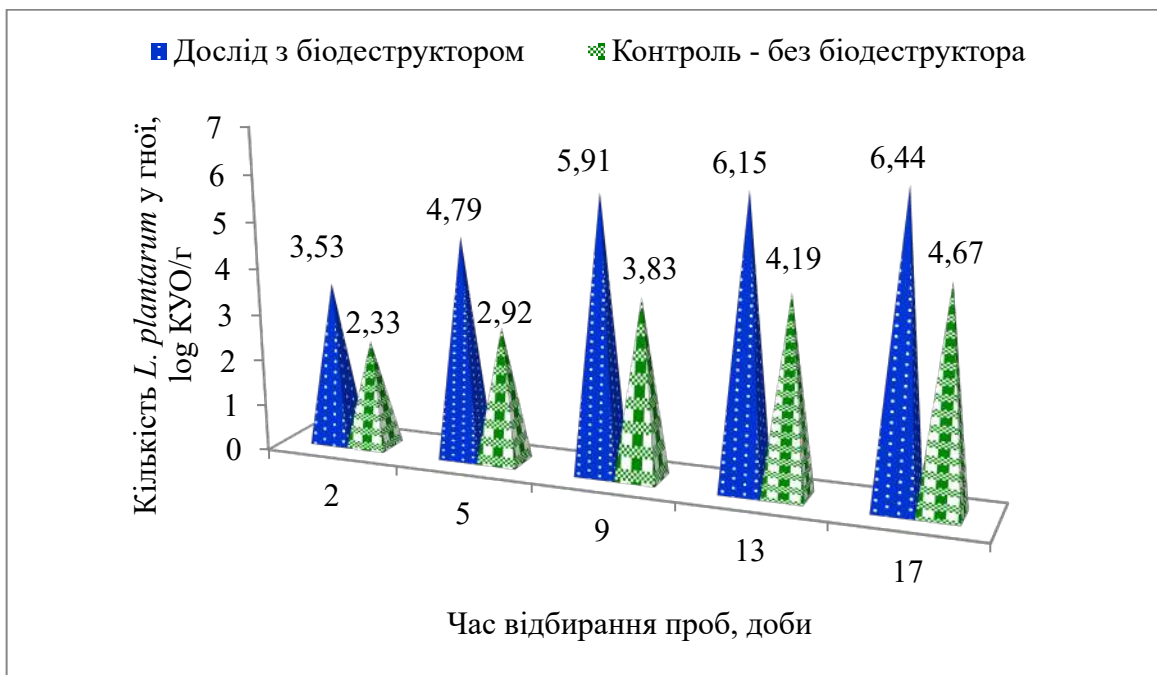
**Рис. 3.24.** Зміни кількості бактерій *Bacillus* spp. у рідкому свинячому гної під час наповнення гноєвої ванни за використання біодеструктора «Санаеро» при температурі навколишнього середовища + 20 – + 25 °С

Після 9 доби у гної з біодеструктором та після 13 доби у контрольному гної відмічали поступовий спад у розвитку бацил, що очевидно пов'язано із наповненням гноєвої ванни та відповідно зменшенням у нижніх шарах кисню, який необхідний для розвитку аеробних бацил. Однак навіть на закінчення досліді – 17 доба, у гної з біодеструктором кількість *Bacillus* spp. була в десятки разів більша, ніж у контролі без біодеструктора. Це свідчить, що ферментативні

процеси навіть у заповненій ванні з мікроорганізмами біодеструктора «Санаеро» будуть проходити інтенсивніше, ніж у гноєвій ванні у контролі.

Загалом відмічаємо, що додавання нашого біологічного препарату, який містить бактерії *Bacillus* spp., у свинячий гній зумовлює їх активне розмноження і збільшення на чотири порядки на дев'яту добу, що свідчить про участь цієї мікробіоти у ефективних процесах у гноєвій ванні.

У склад нашого біодеструктора входить молочнокисла паличка *L. plantarum*, яка під час розвитку у субстраті здатна активно продукувати органічні кислоти (молочну) знижуючи рН середовища та в подальшому пригнічувати ріст патогенних бактерій. Тому закономірно постало питання визначити динаміку її розвитку у гної під час наповнення гноєвої ванни з біодеструктором за температури навколишнього середовища + 20 – + 25 °С. Результати наведено на рис. 3.25.



**Рис. 3.25.** Зміни кількості бактерій *Lactobacillus plantarum* у рідкому свинячому гної під час наповнення гноєвої ванни за використання біодеструктора «Санаеро» при температурі навколишнього середовища + 20 – + 25 °С

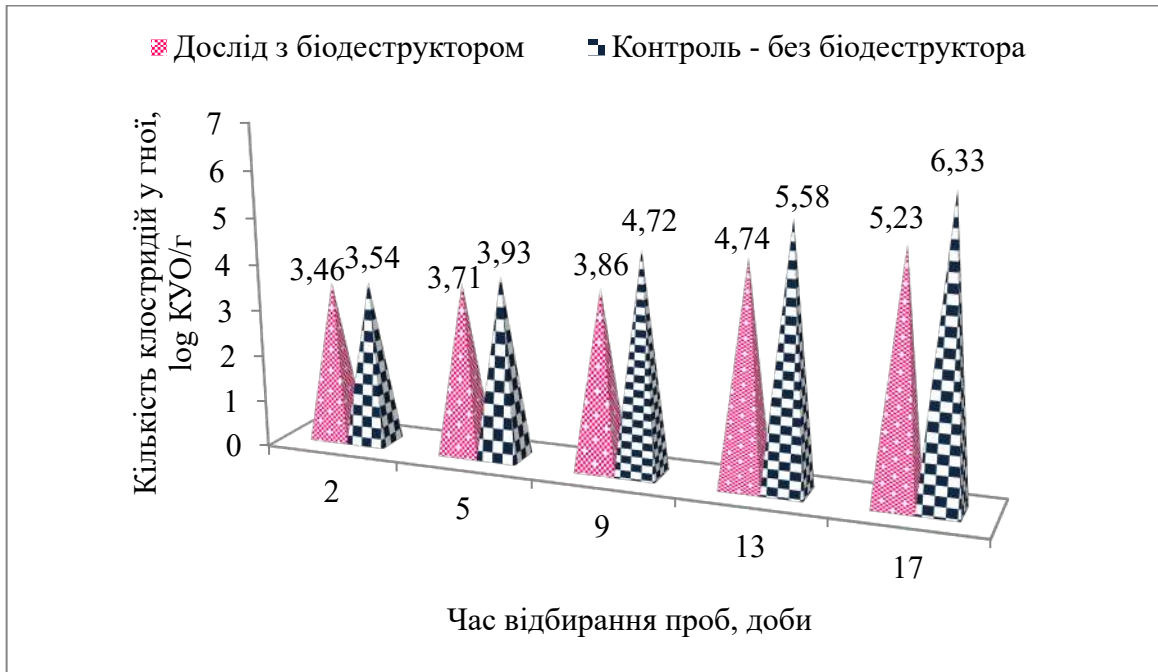
З рис. 3.25 видно, що у гної з біодеструктором вміст *L. plantarum* був більшим протягом усього періоду заповнення гноєвої ванни, порівнюючи з гноєм без додавання біологічного препарату. При цьому різниця щодо вмісту *L. plantarum* у дослідному гної збільшувалася по мірі наповнення гноєвої ванни, проти вмісту у контрольному гної у цей період. Зокрема, на другу добу у гної з біодеструктором кількість *L. plantarum* становила 3,53 log КУО/г проти 2,33 log КУО/г у контрольному гної. Протягом наступних діб наповнення гноєвої ванни кількість *L. plantarum* зростала у гної двох варіантів, натомість у дослідному – інтенсивність її збільшення була в десятки разів більша, ніж у контрольному. Так на 9 та 13 доби дослідження кількість *L. plantarum* виявилася, в середньому на два порядки більша у гної за оброблення його біодеструктором і становила 5,91 та 6,15 log КУО/г проти 3,83 та 4,19 log КУО/г, відповідно. Це свідчить, що у гної з біодеструктором швидше буде проходити ферментація вуглеводів, зниження рН та вплив утворених метаболітів на витіснення спороутворюючої анаеробної мікрофлори, з якою пов'язують неприємні запахи та порушення показників мікроклімату.

Надходження нових порцій гною у гноєві ванну не впливало на зменшення вмісту молочнокислих паличок у субстраті, оскільки на 17 добу у гної за додавання біодеструктора «Санаеро» відмічалася різниця у два порядки з гноєм без біодеструктора, 6,44 log КУО/г проти 4,67 log КУО/г, відповідно.

Отже, *L. plantarum*, яка входить у розроблений нами біодеструктор «Санаеро» швидко адаптується до органічного середовища – свинячого гною та активно розвивається у ньому протягом усього періоду наповнення гноєвої ванни. Це дозволяє створити з гною більш безпечне середовище з меншим запахом та очевидно з нижчим вмістом бактеріальних патогенів.

Важливо було оцінити вплив нашого біодеструктора на спороутворюючу анаеробну мікрофлору гною, оскільки у процесі її життєдіяльності утворюються шкідливі та токсичні речовини (сірководень, вуглекислий газ, меркаптани), які створюють неприємне токсичне аерозольне середовище у свинарниках. Саме мікроорганізми біодеструктора мають на меті пригнічувати життєдіяльність цих бактерій та знизити продукування неприємних газів. Результати впливу

біодеструктора «Санаеро» на активність клостридіальної мікрофлори у гної за наповнення гноєвої ванни за температури навколишнього середовища + 20 – + 25 °С наведено на рис. 3.26.



**Рис. 3.26.** Зміни кількості *клостридій* у рідкому свинячому гної під час наповнення гноєвої ванни за використання біодеструктора «Санаеро» при температурі навколишнього середовища + 20 – + 25 °С

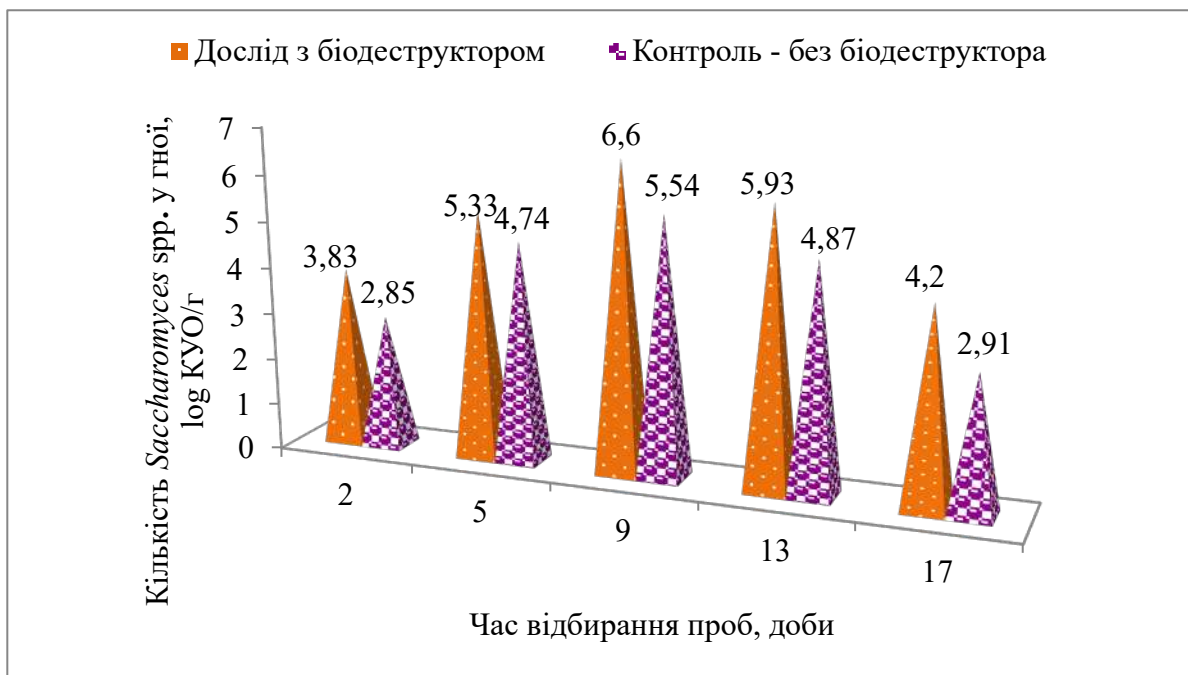
З рис. 3.26 відмічаємо, що у гної клостридії миттєво не розмножуються, а проявляють помірний розвиток упродовж наповнення гноєвої ванни гноєм. Водночас спостерігається різниця щодо вмісту бактерій роду *Clostridium* між дослідним (з біодеструктором) і контрольним гноєм, зокрема менша кількість клостридій у пробах гною, які обробляли біологічним препаратом «Санаеро». Виявлено, що мікроорганізми нашого біодеструктора впливають антагоністично на розвиток клостридій та зменшують їх кількість у гної. З другої по дев'яту добу заповнення гноєвої ванни вміст бактерій *Clostridium* spp. збільшився у дослідному гної з 3,46 log KUO/г до 3,86 log KUO/г, тобто в 2,5 раза ( $P < 0,05$ ). Натомість у гної в контролі без застосування біодеструктора збільшення становило в 13,3 раза ( $P < 0,001$ ), з 3,54 log KUO/г до 4,72 log KUO/г гною. Це свідчить, що мікроорганізми біодеструктора (родів *Bacillus*, *Lactobacillus*,

*Pseudomonas*) активно гальмують розвиток клостридій через продукування антимікробних метаболітів та зниження рН середовища, у якому розвиток клітин *Clostridium* spp. сповільнюється.

По мірі наповнення гноєвої ванни (13 – 17 доби) створюються кращі можливості для розвитку анаеробних бактерій, водночас у гної з біодеструктором мікробіологічний склад суттєво впливає на конкуренцію між бактеріями, зокрема з *Clostridium* spp. Це проявляється тим, що навіть на 17 добу проведення досліду кількість клостридій у гної з біодеструктором «Санаеро» була менша приблизно на один порядок, ніж у гної без мікроорганізмів біодеструктора – 5,23 log КУО/г проти 6,33 log КУО/г гною, відповідно.

Отже, застосування біодеструктора «Санаеро» з вмістом пробіотичних мікроорганізмів знижує ріст клостридій у гної під час наповнення гноєвої ванни, що особливо важливо для запобігання формування неприємного запаху, газоутворення та в загальному покращення мікроклімату у свинарниках. До того ж виявлено, що в середньому вміст клостридій у гної без оброблення біодеструктором був на один порядок вищий, ніж у дослідному гної.

Дріжджі виду *Saccharomyces cerevisiae* продукують ферменти, які розкладають органічні субстрати гною, активізують симбіотичні бактерії. У складі розробленого біодеструктора «Санаеро» дія їх направлена на досягнення симбіотичного ефекту разом із *L. plantarum*. Тому з наукового погляду необхідно було з'ясувати, чи впливають на мікробіоту свинячого гною дріжджі запропонованого біодеструктора, порівнюючи з гноєм без нього. Результати зміни дріжджів у гної за оброблення його біодеструктором «Санаеро» за температури + 20 – + 25 °С наведено на рис. 3.27.



**Рис. 3.27.** Зміни кількості *Saccharomyces* spp. у рідкому свинячому гної під час наповнення гноєвої ванни за використання біодеструктора «Санаеро» при температурі навколишнього середовища + 20 – + 25 °С

З рис. 3.27 видно закономірно вищий вміст дріжджів у гної в дослідних пробах, порівнюючи з контрольними без біодеструктора протягом усього періоду наповнення гноєвої ванни. Уже на другу добу дослідження кількість сахароміцетів становила 3,83 log КУО/г у дослідному гної та на один порядок менша кількість – 2,85 log КУО/г в контрольному.

Упродовж 5 діб наповнення гноєвої ванни кількість сахароміцетів збільшилася у гної з біодеструктором до 5,33 log КУО/г, а у гної без нього до 4,74 log КУО/г. Пік популяції дріжджів у гної з біодеструктором відмічали на дев'яту добу – 6,60 log КУО/г, проти 5,54 log КУО/г у контрольному гної. У цей час відбувається утилізація дріжджами летких жирних кислот гною, які відповідальні за запах. Також сахароміцети починають утворювати біоплівки, розкладати органічні речовини, які необхідні для життєдіяльності молочнокислих бактерій.

Практично з 13 доби вміст дріжджів почав зменшуватися у гної обох груп, на 17 добу їх кількість становила 4,20 log КУО/г у дослідних пробах, проти 2,91

log КУО/г у контрольних. Це свідчить про витіснення сахароміцетів із гноєвої мікробіоти через створення анаеробних умов у глибоких шарах гноєвої ванни, більшість дріжджів стають не активними і переходять у анабіотичний стан.

Отже, дріжджова мікробіота у гної з використанням деструктора «Санаеро» є більш чисельна протягом усього періоду заповнення гноєвої ванни. Пік сахароміцетів припадає на дев'яту добу – коли цукристі речовини і леткі кислоти найактивніше розщеплюються і дріжджі конкурують за субстрати разом із клостридіями та бацилами, тобто вони відіграють роль конкурентів для анаеробних клостридій та на початковій стадії створюють сприятливе середовище для активного росту молочнокислої мікрофлори.

Наявність у гної умовно-патогенних (*E. coli*, *S. aureus*) і патогенних (*Salmonella*) бактерій створює ризики можливого контамінування навколишнього середовища та передачі збудників через харчовий ланцюг. Мікроорганізми розробленого біодеструктора «Санаеро» (*Bacillus*, *Lactobacillus*) проявляють пробіотичні антагоністичні властивості щодо багатьох бактерій. На наш погляд ці пробіотичні властивості мають добре проявлятися у рідкому свинячому гної під час наповнення гноєвої ванни, тим самим підвищувати його санітарний стан. Тому було визначено зміни вмісту умовно-патогенних (*E. coli*, *S. aureus*) та патогенних (*Salmonella*) бактерій у свинячому гної за наповнення гноєвої ванни (табл. 3.4).

З табл. 3.4 видно, що на другу добу дослідження вміст *E. coli* у гної обробленим біодеструктором становив  $5,50 \pm 4,15$  log КУО/г, проти  $5,89 \pm 4,42$  log КУО/г у контролі. Тобто у дослідному гної кількість кишкової палички була в 2,4 раза ( $P < 0,05$ ) менша. Незначний вплив біодеструктора на клітини кишкової палички у даній період пояснюється поступовою адаптацією пробіотичних бактерій до середовища та початком продукування бактеріоцинів.

Протягом п'яти діб наповнення гноєвої ванни спостерігаємо меншу кількість *E. coli* у дослідному гної, порівнюючи з вмістом у контролі. Зокрема на цю добу кількість *E. coli* у гної з біодеструктором зменшилася практично на один порядок ( $P < 0,05$ ) до  $4,65 \pm 3,36$  log КУО/г, проти кількості на другу добу та була

майже на один порядок менша ( $P < 0,05$ ), ніж у гної в контролі ( $5,71 \pm 4,33 \log$  КУО/г).

Таблиця 3.4

**Вплив біодеструктора «Санаеро» на вміст *E. coli*, *S. aureus* та *Salmonella spp.* у свинячому гної під час наповнення гноєвої ванни за температури навколишнього середовища + 20 – + 25 °С,  $M \pm m$**

Час дослід- ження, доба	Кількість мікроорганізмів, log КУО/г					
	<i>E. coli</i>		<i>S. aureus</i>		<i>Salmonella spp.</i>	
	1	2	1	2	1	2
2	5,50 ±	5,89 ±	2,83 ±	3,61 ±	0	0
	4,15	4,42	1,32	2,05		
5	4,65 ±	5,71 ±	2,72 ±	3,88 ±	0	0
	3,36	4,33	1,34	2,33		
9	4,33 ±	5,62 ±	1,86 ±	3,50 ±	0	0
	3,14	4,14	0,69	2,15		
13	3,76 ±	4,41 ±	1,82 ±	2,83 ±	0	0
	2,30	3,16	0,77	1,43		
17	3,91 ±	4,53 ±	0	2,71 ±	0	0
	2,31	3,36		1,38		

Примітка. 1 – у дослідному гної з біодеструктором; 2 – у контрольному.

Аналогічна тенденція відмічалася й на дев'яту добу заповнення гноєвої ванни, водночас динаміка відмирання *E. coli* у дослідному гної вже не проходила так інтенсивно, як з другої по п'яту доби. Натомість порівнюючи із кількістю *E. coli* в контролі, різниця була більше, ніж на один порядок ( $P < 0,05$ ) у цей період дослідження. Це свідчить, що мікроорганізми біодеструктора починають активно діяти і пригнічувати розвиток *E. coli* завдяки зниженню рН середовища, накопиченню летких жирних кислот, бактеріоцинів, продуктів ферментації.

Пік зниження *E. coli* у дослідному гної відмічали на 13 добу, у цей час її кількість становила  $3,76 \pm 2,30 \log$  КУО/г, проти  $4,41 \pm 3,16 \log$  КУО/г у контролі.

Надалі інтенсивного відмирання кишкової палички у гної не відмічали, як у дослідних пробах, так і в контрольних, що свідчить про стабілізацію активності мікроорганізмів біодеструктора через створення анаеробних умов у гноєвій ванні.

Зважаючи на широке застосування антимікробних препаратів у свинарстві та формування стійких метецилінрезистентних стафілококів (MRSA) у середовищі вирощування тварин, актуально було з'ясувати здатність впливати біодеструктора «Санаеро» впливали на виживаність патогенних стафілококів.

Результати табл. 3.4 виявили незначний вміст *S. aureus* у гної в гноєвій ванні обох груп тварин на другу добу, водночас у дослідній за використання біодеструктора «Санаеро» його кількість була, в середньому, на один порядок менша ( $P < 0,05$ ) і становила  $2,83 \pm 1,32 \log \text{ КУО/г}$ , проти  $3,61 \pm 2,05 \log \text{ КУО/г}$  у контролі.

На п'яту добу дослідження гною дослідних й контрольних проб не виявило статистично вірогідної різниці щодо вмісту золотистого стафілококу, порівнюючи з другою добою. Натомість на 9 та 13 доби заповнення гноєвої ванни вміст золотистого стафілококу зменшився у гної з мікроорганізмами біодеструктора, в середньому в 7 разів ( $P < 0,05$ ) до  $1,84 \pm 0,67 \log \text{ КУО/г}$ , а в контрольному в 4 рази ( $P < 0,05$ ) до  $2,83 \pm 1,43 \log \text{ КУО/г}$ , порівнюючи з п'ятою добою.

На закінчення заповнення гноєвої ванни – 17 доба, з дослідних проб гною золотистий стафілокок не виділявся, а у контрольних його кількість становила  $2,71 \pm 1,38 \log \text{ КУО/г}$ .

Також виявлено відсутність у гної дослідних і контрольних проб протягом усього періоду наповнення гноєвої ванни патогенних бактерій роду *Salmonella*, що свідчить про добру епізоотичну ситуацію у господарстві.

Загалом відмічаємо, що мікроорганізми біодеструктора «Санаеро» діють антагоністично у свинячому гної щодо клітин кишкової палички й золотистого стафілококу. При цьому вміст кишкової палички зменшувався в середньому на два порядки на закінчення виробничого процесу із заповнення гноєвої ванни, а золотистий стафілокок повністю інгібувався. До того ж кількість кишкової

палички у гної у досліді була, в середньому в 4 – 8 разів менша, ніж у контролі. Це вказує на здатність мікроорганізмів біодеструктора «Санаеро» покращувати санітарний стан свинячого гною.

Отже, підсумовуючи експериментальні дані цього підрозділу відзначаємо наступні найбільш важливі результати. Застосування розробленого біодеструктора «Санаеро», до складу якого входять пробіотичні мікроорганізми (*Bacillus subtilis*, *Bacillus licheniformis*, *Lactobacillus plantarum*, *Saccharomyces cerevisiae*) суттєво активізує біологічні процеси у свинячому гної за заповнення гноєвої ванни при температурі навколишнього середовища + 20 – + 25 °С, сприяє інтенсивному розвитку корисної мікробіоти та пригнічує ріст умовно-патогенних бактерій (*E. coli*, *S. aureus*) та технічно-шкідливих клостридій. Це супроводжується зменшенням газоутворенням (особливо, сірководню й аміаку), зниженням неприємного запаху, покращенням мікробного складу та мікроклімату в свинарниках. Впровадження такого біопрепарату в технологію утилізації гною є перспективним рішенням для екологізації тваринницьких підприємств.

*Результати даних досліджень опубліковано в наступній статті:*  
**Grigorash, P. B., & Horiuk, Y. V. (2025).** The effect of the biodestructor Sanaero on the microflora of pig manure when filling an underfloor bath. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Veterinary Sciences*, 27(118), 189-196. <https://doi.org/10.32718/nvlvet11827>

### **3.5.2 Оцінка мікробіоти рідкого свинячого гною під час наповнення гноєвої ванни за використання біодеструктора «Санаеро» при температурі навколишнього середовища + 15 – +17 °С**

Знижена температура навколишнього середовища впливає на розвиток мікроорганізмів, тому активність біологічних процесів буде повільніше проходити у гної. Застосування біодеструктора ґрунтується на життєдіяльності й біохімічній активності мікроорганізмів, які входять у його склад. Таким чином науковий інтерес мали дослідження, які визначали вплив ефективності

біодеструктора «Санаеро» у холодний період року на мікробіологічні процеси у гної під час заповнення гноєвої ванни. Результати досліджень з оцінки у свинячому гної кількісних змін основних мікроорганізмів, які становлять мікробіоту біодеструктора наведено в табл. 3.5.

Таблиця 3.5

**Кількісні зміни мікроорганізмів у свинячому гної за використання біодеструктора «Санаеро» під час наповнення гноєвої ванни при температурі навколишнього середовища + 15 – + 17 °С, М±m**

Час дослідження, доба	Кількість мікроорганізмів, log КУО/г									
	<i>Bacillus</i> spp.		<i>Lacto-bacillus</i> spp.		<i>Pseudo-monas</i> spp.		<i>Clostridium</i> spp.		<i>Saccharomyces</i> spp.	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
2	4,14±	3,33±	3,38±	2,25±	3,91±	3,43±	3,58±	3,88±	3,79±	2,73±
	3,09	1,94	2,04	1,04	2,61	2,12	2,02	2,52	2,45	1,43
5	6,73±	5,53±	4,76±	2,83±	5,43±	3,99±	3,85±	4,17±	4,86±	3,49±
	5,31	4,38	2,99	1,06	4,15	2,50	2,43	2,83	3,37	2,04
9	7,59±	5,94±	5,93±	3,24±	6,94±	4,85±	3,99±	4,93±	5,73±	4,24±
	5,95	4,57	3,94	2,08	5,22	3,45	2,38	3,37	4,40	2,94
13	7,94±	6,39±	6,96±	4,03±	7,05±	5,68±	4,43±	5,15±	6,47±	4,91±
	5,83	4,81	4,49	2,78	5,34	4,21	3,39	3,75	4,98	3,40
17	7,27±	6,15±	6,64±	4,53±	7,79±	5,97±	5,13±	6,73±	6,94±	3,75±
	5,41	5,01	5,17	3,02	5,51	4,40	3,68	5,21	5,55	2,43

Примітка. 1 – у дослідному гної з біодеструктором; 2 – у контрольному.

З табл. 3.5 спостерігаємо характерні зміни основних представників мікробіоти біодеструктора під час наповнення гноєвої ванни, які відбувалися за температури навколишнього середовища в теплий період (+ 20 – + 25 °С). Водночас наявні деякі відмінності, які полягали у менш інтенсивному процесі збільшення кількості мікроорганізмів протягом усього процесу наповнення гноєвої ванни. Такі пробіотичні бактерії, як *Bacillus* spp. проявляли найінтенсивнішу динаміку з поміж досліджених мікроорганізмів. Зокрема їх кількість вже на другу добу наповнення гноєвої ванни досягала більше мільйона

в 1 г, а з 9 по 17 доби сягала на один порядок вище ( $P < 0,05$ ). Це свідчить, що ці бактерії добре проявляють активність у свинячому гної навіть у холодний період року. У контрольних пробах гною без біодеструктора розвиток *Bacillus* spp. був на півтора – один порядок нижчий, ніж у дослідних.

Відносно динаміки розмноження молочнокислих паличок *Lactobacillus* spp. та сапрофітних *Pseudomonas* spp. можна відзначити також їх інтенсивнішу активність у дослідних пробах, порівнюючи з контрольними. При цьому починаючи з п'ятої доби наповнення гноєм гноєвої ванни кількість *Lactobacillus* spp. та *Pseudomonas* spp. була практично на два порядки вища, ніж у гної без біодеструктора. Це свідчить про адаптацію до середовища та помірний розвиток протягом п'яти діб наповнення гноєвої ванни з наступним переходом у експоненціальну фазу розвитку із зростанням до  $10^6 - 10^7$  КУО/г на 9 – 17 доби дослідження.

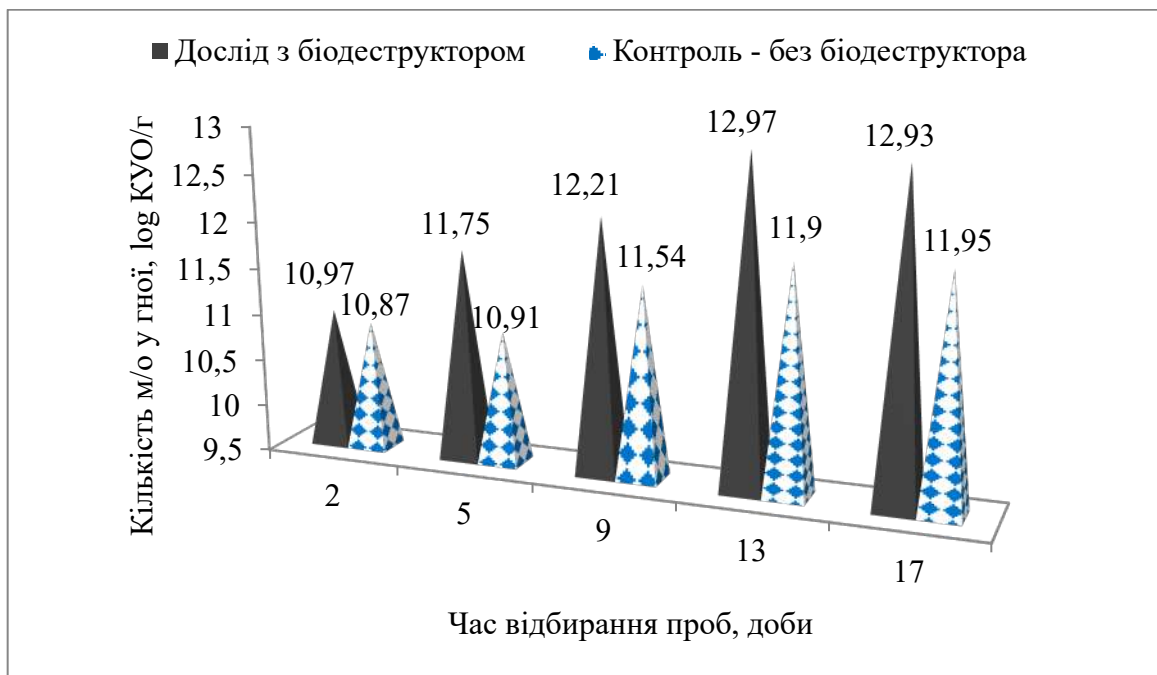
Клостридії за цих умов також зазнавали впливу від розвитку мікроорганізмів біодеструктора у контрольних пробах, оскільки їх вміст був на півтора – один порядок нижчий починаючи з п'ятої доби наповнення гноєвої ванни, порівнюючи з вмістом у контрольних пробах. Це свідчить, що по мірі зростання пробіотичних мікроорганізмів біодеструктора у гної в дослідних пробах, спостерігається гальмування розвитку у гної технічно-шкідливих клостридій.

Динаміка дріжджової мікробіоти також мала тенденцію до інтенсивнішого зростання у гної з біодеструктором протягом усього виробничого циклу наповнення гноєвої ванни. Це є свідченням симбіотичної активності молочнокислої й дріжджової мікрофлори у гної з біодеструктором «Санаеро» за температури  $+15 - +17$  °С.

Отже, за результатами дослідів відзначаємо, що застосування біодеструктора «Санаеро» під час наповнення гноєвої ванни свинячим гноєм за температури  $+15 - +17$  °С сприяє активному розвитку пробіотичних мікроорганізмів, зокрема *Bacillus* spp., *Lactobacillus* spp. та *Pseudomonas* spp., кількість яких суттєво зростає вже з 2–5 доби, досягаючи експоненційного рівня ( $10^6 - 10^7$  КУО/г) на 9 – 17 доби. Одночасно спостерігається зниження

чисельності шкідливих *Clostridium* spp. на 1 – 1,5 порядки, у порівнянні з контролем, що вказує на антагоністичний вплив пробіотичної мікрофлори біодеструктора. Крім того, зафіксовано посилене зростання дріжджової мікрофлори, що свідчить про сприятливу симбіотичну взаємодію з молочнокислими бактеріями. Таким чином, «Санаеро» ефективно оптимізує мікробіологічний склад свинячого гною навіть за умов помірно прохолодної температури, забезпечуючи біологічне збагачення середовища та пригнічення небажаної мікрофлори.

Оброблення гною біодеструктором «Санаеро» має впливати на його загальне бактеріальне обсяння, оскільки інтенсифікуються мікробіологічні процеси. Враховуючи такий принцип впливу було визначено ЗБО гною за температури навколишнього середовища +15 – +17 °С (рис. 3.28).



**Рис. 3.28.** Зміни загального мікробного обсяння у рідкому свинячому гної під час наповнення гноєвої ванни за використання біодеструктора «Санаеро» при температурі навколишнього середовища + 15 – + 17 °С

З рис. 3.28 спостерігається тенденція, яка була виявлена за дослідження ЗБО гною при температурі +20 – +25 °С (рис. 5.1), тобто швидші темпи збільшення загальної мікробіоти гною у дослідних пробах під час наповнення

гноєвої ванни, проти контрольних проб. При цьому загальна кількість мезофільної мікрофлори у гної за оброблення біодеструктором «Санаєро» зросла з  $10,97 \pm 8,82 \log \text{ КУО/г}$  (п'ята доба) до  $12,93 \pm 10,77 \log \text{ КУО/г}$ , а у контрольному гної з  $10,87 \pm 8,74 \log \text{ КУО/г}$  до  $11,95 \pm 9,81 \log \text{ КУО/г}$ . Тобто різниця щодо вмісту ЗБО між дослідними й контрольними пробами становила приблизно один порядок.

Таким чином, загальна мікробіота свинячого гною обробленого біодеструктором «Санаєро» за температури навколишнього середовища  $+15 - +17 \text{ }^\circ\text{C}$  інтенсивніше зростає, що свідчить про здатність даного біологічного препарату впливати на мікрофлору гною навіть за низьких температур повітря у свинарниках.

Також визначено зміни *E. coli*, *S. aureus* та *Salmonella spp.* у гної за низької температури повітря в свинарнику за дії біодеструктора «Санаєро» (табл. 3.6).

Таблиця 3.6

**Вплив біодеструктора «Санаєро» на вміст *E. coli*, *S. aureus* та *Salmonella spp.* у свинячому гної під час наповнення гноєвої ванни за температури навколишнього середовища  $+15 - +17 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $M \pm m$**

Час дослідження, доба	Кількість мікроорганізмів, log КУО/г					
	<i>E. coli</i>		<i>S. aureus</i>		<i>Salmonella spp.</i>	
	1	2	1	2	1	2
2	$5,29 \pm$	$5,70 \pm$	$2,79 \pm$	$2,90 \pm$	0	0
	3,93	4,23	1,67	1,73		
5	$5,02 \pm$	$5,82 \pm$	$2,43 \pm$	$3,53 \pm$	0	0
	3,57	4,25	1,23	2,05		
9	$4,89 \pm$	$5,53 \pm$	$2,40 \pm$	$2,82 \pm$	0	0
	3,35	4,01	1,07	1,51		
13	$4,40 \pm$	$5,23 \pm$	0	$2,96 \pm$	0	0
	2,98	3,56		1,64		
17	$3,92 \pm$	$4,84 \pm$	0	$2,38 \pm$	0	0
	2,73	3,01		1,11		

Примітка. 1 – у дослідному гної з біодеструктором; 2 – у контрольному.

З табл. 3.6 видно, що в дослідному й контрольному свинячому гної упродовж 17-добового періоду наповнення гноєвої ванни вміст кишкової палички зазнав поступового зменшення. Зокрема, у гної з мікроорганізмами біодеструктора «Санаеро» зменшення кількості кишкової палички упродовж зазначеного періоду відбулося, в середньому на два порядки, а гною в контролі тільки на один порядок. Це вказує, що за температури + 15 – +17 °С відбувається продукування біологічних біоцинів мікроорганізмами біодеструктора у свинячому гної, які впливають на розвиток кишкової палички.

Водночас, якщо порівняти вплив біодеструктора «Санаеро» на кишкову паличку за двох температур низької (+ 15 – +17 °С) та вищої (+ 20 – +25 °С), то відмінності полягають лише в швидшій активації мікрофлори біодеструктора у дослідному гної через вплив температури на фізіологічні процеси в мікробних клітинах. Тобто проходить швидший вплив утворених біологічних речовин на розмноження кишкової палички, в результаті її розвиток гальмується, але на закінчення (17 доба) за двох температур вміст був практично однаковий.

Динаміка розвитку золотистого стафілококу також зазнавала впливу у гної, який оброблявся біодеструктором «Санаеро». Тобто у дослідних пробах на п'яту добу заповнення гноєвої ванни вміст золотистого стафілококу становив приблизно на один порядок менше, ніж у гної без додавання мікроорганізмів біодеструктора,  $2,43 \pm 1,23$  проти  $3,53 \pm 2,05$  log КУО/г.

Із 13 та до 17 доби наповнення гноєвої ванни золотистий стафілокок у дослідних пробах гною був відсутній, а у контрольних його кількість хоч і була незначна, проте становила  $2,96 \pm 1,64$  log КУО/г. Це засвідчує пригнічення активності золотистого стафілококу мікроорганізмами біодеструктора навіть за низької температури навколишнього середовища.

Відносно впливу біодеструктора «Санаеро» на клітини *Salmonella* spp. в умовах *in vivo*, то результату не було виявлено, оскільки в гної дослідних й контрольних проб ці патогенні бактерії не виділялися.

Отже, на основі отриманих результатів встановлено, що використання біодеструктора «Санаеро» за температури навколишнього середовища +15 – +17 °С позитивно впливає на мікробіологічний стан гноєвого субстрату.

Зокрема, зафіксовано інтенсивніше зниження кількості *E. coli* у дослідних зразках – у середньому на два порядки протягом 17 діб, що вдвічі ефективніше порівняно з контрольними зразками. Також виявлено значне пригнічення розвитку *S. aureus*: з 13-ї доби бактерії були повністю відсутні в дослідних зразках, тоді як у контрольних зразках залишались у низькій концентрації. Це свідчить про антагоністичну активність мікроорганізмів біодеструктора, навіть за умов знижених температур. Щодо *Salmonella*, патоген не було виділено ні в дослідних, ні в контрольних зразках, що не дозволяє зробити висновки про ефективність дії біодеструктора щодо цього збудника в досліджуваних умовах.

Загалом, біодеструктор «Санаеро» проявив антимікробну активність і може бути рекомендований для покращення санітарно-епідеміологічного стану гною в умовах низьких температур.

### **3.6. Вплив біодеструктора «Санаеро» на мікробіологічні показники мікроклімату у боксах для відгодівлі свиней**

У попередніх підрозділах показано, що за додавання до гноєвої ванни біодеструктора «Санаеро» відбувається покращення мікробіоти гною, тому доцільно було з'ясувати можливість впливу цієї обробки на мікробіологічні показники повітря у свинарниках. Результати кількісного вмісту дріжджової й мезофільної мікрофлори у повітрі свинарників у теплий період року наведено в табл. 3.7.

З табл. 3.7 спостерігаємо поступове зниження мікробного обсіяння повітря у свинарниках, у яких до гноєвої ванни додавали біодеструктор «Санаеро». Уже на п'яту добу наповнення гноєвої ванни кількість МАФАНМ у повітрі свинарників була, в середньому в 3 рази ( $P < 0,05$ ) нижча, порівнюючи з другою добою ( $2,1 \pm 0,1 \times 10^4$  КУО/м<sup>3</sup>) та приблизно на один порядок менша, ніж у повітрі у контрольних свинарниках ( $1,1 \pm 0,2 \times 10^5$  КУО/м<sup>3</sup>). З п'ятої по дев'яту добу наповнення гноєвої ванни кількість МАФАНМ у повітрі дослідних свинарників суттєво не змінилася, а на 17 добу відмічали, в середньому в 3 рази ( $P < 0,05$ ) нижчу кількість мезофільних бактерій, ніж на п'яту добу. Тобто біодеструктор

«Санаеро» покращує санітарний стан повітря та демонструє ефективність протягом усього періоду наповнення гноєвої ванни.

Таблиця 3.7

**Мікробіологічні показники мікроклімату у боксах для відгодівлі свиней за використання біодеструктора «Санаеро» за температури навколишнього середовища + 20 – + 25 °С, М±m**

Час дослідження, доба	Показники			
	МАФАНМ, КУО/м <sup>3</sup>		Гриби, КУО/м <sup>3</sup>	
	1	2	1	2
2	6,3±0,3×10 <sup>4</sup>	9,1±0,3×10 <sup>4</sup>	5,3±0,2×10 <sup>2</sup>	8,4±0,3×10 <sup>2</sup>
5	2,1±0,1×10 <sup>4*</sup>	1,1±0,2×10 <sup>5</sup>	3,1±0,2×10 <sup>2*</sup>	8,9±0,3×10 <sup>2</sup>
9	1,0±0,1×10 <sup>4*</sup>	9,8±0,3×10 <sup>4</sup>	1,4±0,1×10 <sup>2*</sup>	3,7±0,2×10 <sup>3</sup>
13	8,5±0,3×10 <sup>3*</sup>	1,3±0,2×10 <sup>5</sup>	1,5±0,1×10 <sup>2*</sup>	7,8±0,2×10 <sup>2</sup>
17	7,1±0,3×10 <sup>3*</sup>	1,0±0,1×10 <sup>5</sup>	1,4±0,1×10 <sup>2*</sup>	8,9±0,2×10 <sup>2</sup>

Примітки. 1 – у дослідному гної з біодеструктором; 2 – у контрольному; \*P < 0,05 – порівняно з контрольними пробами.

У контрольних пробах повітря свинарників, починаючи з 13 доби вміст МАФАНМ був приблизно на півтора порядку вищий, ніж у дослідних і становив 1,0±0,1×10<sup>5</sup> КУО/м<sup>3</sup>. Також відзначаємо, що у дослідних пробах повітря в свинарнику вміст МАФАНМ не перевищував орієнтовну нормативну кількість у 1,0×10<sup>5</sup> КУО/м<sup>3</sup>, натомість у контрольних пробах повітря починаючи з 13 доби наповнення гноєвої ванни вміст МАФАНМ дещо перевищувала цей показник.

Відносно грибкової мікробіоти у повітрі свинарників у яких застосовували деструктор «Санаеро», то вона також поступово зменшилася, хоч менш інтенсивно, ніж бактеріальна. Зокрема у дослідних пробах з 2 по 17 добу вміст грибів у повітрі свинарників знизився в 3,8 раза (P < 0,05) та становив 1,4±0,1×10<sup>2</sup> КУО/м<sup>3</sup>. Натомість у контрольних пробах повітря на 17 добу кількість грибів становила 8,9±0,2×10<sup>2</sup> КУО/м<sup>3</sup>, тобто була в 6,3 раза більша, порівнюючи з вмістом у повітрі в досліді.

Загалом такі дані вказують, що застосування біодеструктора «Санаеро» є ефективним заходом для покращення мікроклімату у свинарниках за відгодівлі свиней, що напряду впливає на здоров'я тварин, їх продуктивність та санітарний стан приміщень.

Результати кількісного вмісту дріжджової й мезофільної мікрофлори у повітрі свинарників у холодний період року наведено в табл. 3.8.

Таблиця 3.8

**Мікробіологічні показники мікроклімату у боксах для відгодівлі свиней за використання біодеструктора «Санаеро» за температури навколишнього середовища + 15 – + 17 °С, М±m**

Час дослідження, доба	Показники			
	МАФАНМ, КУО/м <sup>3</sup>		Гриби, КУО/м <sup>3</sup>	
	1	2	1	2
2	2,4±0,2×10 <sup>5</sup>	3,1±0,1×10 <sup>5</sup>	8,1±0,3×10 <sup>2</sup>	8,9±0,3×10 <sup>2</sup>
5	1,8±0,1×10 <sup>5*</sup>	4,5±0,2×10 <sup>5</sup>	6,5±0,2×10 <sup>2</sup>	8,1±0,3×10 <sup>2</sup>
9	8,9±0,3×10 <sup>4*</sup>	3,3±0,3×10 <sup>5</sup>	4,3±0,2×10 <sup>2*</sup>	2,6±0,1×10 <sup>3</sup>
13	8,2±0,3×10 <sup>4*</sup>	1,3±0,2×10 <sup>5</sup>	3,8±0,1×10 <sup>2*</sup>	2,7±0,3×10 <sup>3</sup>
17	8,5±0,3×10 <sup>4*</sup>	1,7±0,1×10 <sup>5</sup>	4,2±0,2×10 <sup>2*</sup>	1,2±0,3×10 <sup>3</sup>

Примітка. 1 – у дослідному гної з біодеструктором; 2 – у контрольному; \*P < 0,05 – порівняно з контрольними пробами.

Аналіз даних табл. 3.8 виявив аналогічну динаміку, щодо впливу біодеструктора «Санаеро» на мікрофлору повітря в свинарниках. Тобто відбувається поступове статистично вірогідне (P < 0,05) зменшення вмісту МАФАНМ у повітрі протягом заповнення гноєвої ванни за застосування біодеструктора «Санаеро» та практично стабільні показники у контрольних приміщеннях.

Отже, узагальнюючи дані підрозділу виділяємо, що застосування біодеструктора «Санаеро» у свинарниках сприяє істотному зниженню рівня

мікробного обсіання повітря, зокрема кількості МАФАНМ та грибової мікробіоти. Ефект помітний уже на п'яту добу застосування біологічного препарату та зберігається протягом усього періоду наповнення гноєвої ванни. У дослідних свинарниках рівень мікробного обсіання повітря не перевищував орієнтовний показник (100 тис. КУО/м<sup>3</sup>), на відміну від контрольних, де спостерігалось перевищення норми. Отже, використання біодеструктора «Санаеро» є ефективним засобом покращення санітарного стану повітря у свинарниках.

*Результати даних досліджень опубліковано в наступній статті:*  
**Grigorash, P. B., & Horiuk, Y. V. (2025).** Sanitary condition of pig manure and microclimate in piggeries under treatment with the biodestructor Sanaero. *One Health Journal*, 3(V), 43–53. <https://doi.org/10.31073/onehealthjournal2025-v-05>

## РОЗДІЛ 4

### АНАЛІЗ І УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

Загальновідомо, що для комфортного самопочуття тварин у приміщеннях необхідно, щоб параметри мікроклімату явно не відрізнялися від атмосферного. Однак висока концентрація тварин на невеликій площі та зберігання протягом певного часу відходів (гною, сечі) у ваннах під підлогою створюють умови, які негативно впливають на якість мікроклімату. У зв'язку з цим запроваджують різні сучасні системи оптимального забезпечення мікроклімату шляхом комп'ютеризованого регулювання за рахунок подачі свіжого повітря із зовнішнього середовища. Враховуючи такі оглядові результати літератури на першому етапі досліджень було проведено мікробіологічну оцінку біоаерозолі у босах для відгодівлі свиней для розробки стратегій щодо покращення умов мікроклімату ферми.

Встановлено, що показники вмісту МАФАНМ та грибів у біоаерозолі свинарників на відгодівлі залежали від пори року та тривалості відгодівлі. Найбільшу кількість мікроорганізмів у біоаерозолі виявляли взимку та на закінчення терміну відгодівлі (2,5 місяці), порівнюючи із літом та першими 10 днями відгодівлі. При цьому у зимові місяці кількість МАФАНМ у біоаерозолі свинарників протягом усього періоду відгодовування свиней була в 8,0 та 2,8 рази більша, ніж у літні та осінні місяці. Зокрема взимку кількість МАФАНМ і грибів у біоаерозолі через 2,5 місяці відгодовування становила  $8,8 \pm 0,3 \times 10^5$  та  $1,3 \pm 0,08 \times 10^3$  КУО/м<sup>3</sup>, відповідно, а літом  $1,1 \pm 0,09 \times 10^5$  та  $8,1 \pm 0,2 \times 10^2$  КУО/м<sup>3</sup>, відповідно. Тобто у літні місяці показники мікроклімату у свинарниках за вмістом МАФАНМ відповідали гігієнічним нормативам, які рекомендують у Польщі (Krzysztofik, 1992), протягом усього періоду відгодовування, а взимку тільки протягом перших 10 днів відгодовування. У дослідженнях, проведених на невеликих свинокомплексах з поголів'ям до 100 голів автори реєстрували наступні мікробіологічні параметри мікроклімату в зимовий сезон, так кількість МАФАНМ становила  $3,6 \times 10^6$  КУО/м<sup>3</sup> та  $4,6 \times 10^6$  КУО/м<sup>3</sup> влітку, тобто

дослідники не виявили залежності протягом року (Chmielowiec-Korzeniowska et al., 2018). При цьому система вентиляції у даному відгодівельному цеху була заснована на природно-механічній вентиляції з термодатчиком. Вентилятори автоматично вмикалися, коли температура в приміщенні піднімалася до 18 °С. При низьких температурах повітрообмін здійснювався тільки природним шляхом. Отримані значення в більше, як на один порядок перевищували гігієнічні нормативи, орієнтовані на здоров'я людини ( $2,0 \times 10^5$  КУО/м<sup>3</sup>) для цього сектору (Chmielowiec-Korzeniowska et al., 2018; 2022), що є також свідченням дуже низького санітарного стану приміщень.

На нашу думку на кількість мікроорганізмів у повітрі біоаерозолі виробничих приміщень суттєвий вплив має запровадження ефективної системи контролю мікроклімату та заходів щодо видалення гною й роздачі кормів. При цьому у невеликих господарствах не завжди є матеріальна зацікавленість в запровадженні такої системи, а наявна зазвичай не є автоматизованою. Застосована у нашому господарстві система контролю мікроклімату Big Dutchman контролює показники в залежності від кількості голів у приміщенні та постійно підтримує сталу вологість, температуру, швидкість руху повітря, притоки вентиляції. Очевидно завдяки сучасним технологіям контролю мікроклімату навіть на великих свинокомплексах можна краще забезпечувати оптимальні умови мікроклімату. Про високий рівень мікробного забруднення повітря у свинарниках повідомлялося й в інших країнах (Eduard et al., 2004; Vanhazi et al., 2008). У нашому дослідженні ми вважаємо, що підвищена концентрація мікроорганізмів у повітрі взимку є результатом зниження швидкості руху повітря, про таку динаміку повідомляють також дослідження інших авторів (Ferreira et al., 2018; Mielcarek-Bocheńska et al., 2019).

Наші дослідження узгоджуються за даними (Vottcher, 2001), про те що органічний пил, що походить переважно з кормів, фекалій та шкіри тварин є основним фактором формування біоаерозолі, що відбувається у тваринницьких приміщеннях. Дослідники (Eduard et al., 2004) вказують, що збільшення концентрації пилу в повітрі призводить до підвищення вмісту не тільки аміаку,

алергенних сполук, але й до збільшення загальної кількості мікроорганізмів, що потрапляють у повітря.

Отримані нами результати дослідження показують відносно низьку родову й видову варіацію складу мікрофлори біоаерозолі свинарників протягом року. Основні представники мікробіоти біоаерозолі протягом року були незмінні та склалися з стафілококів, мікрококів і стрептококів, на частку яких припадало 50 – 60 % від усіх ідентифікованих бактерій. Від 20 до 26 % у складі біоаерозолі протягом року становлять грамнегативні форми бактерій. Ці результати узгоджуються з даними (Chang et al., 2001; Chmielowiec-Korzeniowska et al., 2022), про те, що грампозитивні бактерії з роду *Staphylococcus* та *Micrococcus* становлять високий відсотковий внесок у загальну кількість мікроорганізмів повітря тваринницьких приміщень. Хоча існують й протилежні дані (Kraemer et al., 2019), що мікробне різноманіття у свинарнику було вищим взимку, ніж влітку. Цю різницю можна пояснити різною практикою ведення тваринництва в різних країнах, включаючи будову приміщення, систему вентиляції, технологію утримання тварин, годівлю та обробку гною. Тому ми вважаємо, що загальна мікробіота біоаерозолі на свинокомплексах формується із одних джерел – фекалій, кормів, шкірного покриву.

Наші дослідження також виявили, що у біоаерозолі свинарників циркулюють умовно-патогенні бактерії, такі як КПС, синьогнійна та кишкова палички, тобто бактерії, які є збудниками різних запальних процесів та є небезпечними для людей. Водночас дослідники (Strube et al., 2018) виявляли велику частку *Lactobacillus* і *Aerococcus* в носі свиней та на їх шкірі, що могло, після випадання та потенційної аерозоляції, пояснити збільшення їх частки у повітрі свиноферми. Таким чином, отримані нами результати щодо бактеріального забруднення повітря свиноферм викликають занепокоєння та підкреслюють необхідність більш глибоких досліджень складу мікробіоти біоаерозолів. Особливо щодо того, чи може біоаерозоль свиноферм бути джерелом передачі антибіотикостійких бактерій працівникам ферм та через інші предмети навколишнього середовища.

Тому ми вважаємо, що незважаючи на застосування сучасної системи забезпечення мікроклімату, важливе значення має дотримання санітарних умов у приміщенні. У випадку утримання свиней на решітчастій підлозі ще й застосування біодекструкторів для розкладання гною й сечі у ваннах під підлогою. При цьому використання біодекструкторів повинно базуватися з врахуванням технології утримання свиней та способів компостування відходів, оскільки склад мікробних препаратів відрізняється між собою і мікроорганізми та додані ензими є активними за певних умов (температура, рН, вологість, тощо).

Отже, для забезпечення комфортного середовища у приміщенні для відгодівлі свиней необхідно налагодити відповідну систему вентиляції, яка повинна бути добре спроектована і керована, оскільки вона суттєво впливає на концентрацію біоаерозолів у свинарнику.

Серед різноманітних неприємних газів, які утворюються і накопичуються у приміщенні свинарників за інтенсивного вирощування свиней аміак та сірководень вважаються найнебезпечнішими. Саме ці гази є ключовими показниками екологічної безпеки та комфортності тварин й працівників (Zhu et al., 2021). Повідомляється, що існує значна позитивна кореляція між кількістю виділеного аміаку та концентрацією інших неприємних токсичних сполук під час нагромадження гною у підпідлоговій гноєвій ванні або за його компостування (Zhou et al., 2019). Тому концентрації даних газів у повітрі тваринницьких приміщень часто використовують для вимірювання рівня інших виділених запахів (Buoi et al., 2023). Тому метою наступного етапу дослідження було визначити зміни концентрації аміаку і сірководню у повітрі свинарників за відгодівлі свиней під час застосування розробленого нами мікробного препарату для деструкції гною «Санаеро».

Нашими дослідженнями встановлено, що оброблення гною у підпідлоговій ванні біологічним препаратом «Санаеро» сприяє зменшенню концентрації аміаку у повітрі свинарників протягом усього періоду (19 – 21 діб) її наповнення, порівнюючи з контрольними свинарниками. Зокрема, на п'яту добу дослідження концентрація аміаку у дослідних приміщеннях була в 1,6 раза ( $P < 0,05$ ) нижча, ніж у повітрі контрольних проб і становила  $18,1 \pm 1,1$  мг/м<sup>3</sup> проти  $29,8 \pm 1,7$  мг/м<sup>3</sup>.

Тобто уже на п'яту добу у контрольних приміщеннях концентрація аміаку перевищувала допустимий рівень  $20 \text{ мг/м}^3$  для цієї відгодівельної групи свиней (ДСН 3.3.6.042-99). Проте, найвищу концентрацію аміаку було зафіксовано на дев'яту добу у контрольних пробах повітря, яка становила  $56,7 \pm 3,9 \text{ мг/м}^3$  та в 2,1 раза ( $P < 0,05$ ) меншу концентрацію ( $25,8 \pm 1,7 \text{ мг/м}^3$ ) у приміщеннях, у яких добавляли розроблений нами біодеструктор «Санаеро» до гноєвої ванни. Тобто у цей період спостерігається пікова концентрація аміаку у повітрі, водночас мікроорганізми біодеструктора зупиняють втрати азоту гною і перетворення його у газоподібну форму. Надалі спостерігали поступове зменшення концентрації аміаку у контрольних й дослідних приміщеннях, так на 17 добу дослідження вміст аміаку становив  $25,1 \pm 1,6 \text{ мг/м}^3$  у повітрі в контролі та  $11,8 \pm 0,8 \text{ мг/м}^3$  у повітрі в досліді, тобто в середньому в 2,1 раза ( $P < 0,05$ ) була нижча концентрація аміаку за використання біодеструктора «Санаеро». У дослідженнях (Zeng et al., 2015; Ma et al., 2021) вказується, що дезодоруючою здатністю відносно тваринного гною володіють мікроорганізми, які були ідентифіковані як *Bacillus megaterium*, *Lactobacillus acidophilus* та *Alcaligenes faecalis*, відповідно. При цьому коефіцієнт видалення аміаку та сірководню становили 83,56 % та 70,25 % відповідно. Це узгоджується з нашими даними, оскільки у біодеструктор «Санаеро» входять також бактерії родів *Bacillus* та *Lactobacillus*. Однак, на нашу думку, перед додаванням мікробних штамів у препарат-біодеструктор необхідно перевіряти їх симбіоз із іншими культурами та біохімічну активність. Оскільки не всі штами мають однакову ферментативну активність, так за даними (Kim et al., 2006) штам *Lactobacillus plantarum*, який був виділений із зразків свинячого гною з лагун, забезпечував видалення аміаку до 98,5 % після 50 годин інкубації. Складний мікробний дезодорант, який був виготовлений з *Bacillus megaterium*, *Candida tropicalis* та *Streptomyces griseus*, міг видаляти понад 80 % запаху курячого, свинячого та коров'ячого гною, а також понад 65 % сірководню (Ye et al., 2008).

Отже, ми вважаємо, що у склад мікробного препарату-деструктора «Санаеро» підібрані активні штами мікроорганізмів, які ефективно проводять трансформацію азоту у свинячому гної й гальмують виділення газоподібного

аміаку. Оскільки починаючи з п'ятої доби і практично до закінчення наповнення гноєвої ванни, концентрація аміаку у повітрі контрольних приміщень була в 1,4 – 2,8 рази ( $P < 0,05$ ) вища, ніж допустима норма у  $20 \text{ мг/м}^3$  для свиней на відгодівлі.

Інтенсивність виділення неприємних газів з фекалій худоби та птиці залежить від багатьох чинників, водночас температура має найактивніший вплив на розвиток мікроорганізмів і скеровує мікробіологічний процес у русло, яке може змінити формування запахів (Сао et al., 2023). Тому нами було проведено дослідження здатності проявляти біохімічну активність біодеструктора «Санаеро» й за низьких температур навколишнього середовища. Виявлено, що мікроорганізми нашого біодеструктора були активні відносно гальмування виділення аміаку у повітря з гною й за нижчої температури навколишнього середовища ( $+ 15 - + 17 \text{ }^\circ\text{C}$ ). Результати експериментів показали, що процес і динаміка накопичення аміаку була схожа, як за вищої температури, зокрема у дослідних приміщення пікове значення  $22,3 \pm 1,5 \text{ мг/м}^3$  досягалося на 13 добу наповнення підпідлогової ванни, надалі аміак у повітрі зменшився до  $16,3 \pm 1,2 \text{ мг/м}^3$  – 17 добу. У повітрі в контролі відмічали також поступове зростання аміаку з  $8,0 \pm 2,7 \text{ мг/м}^3$  (дуга доба) до  $28,3 \pm 1,9 \text{ мг/м}^3$  (17 доба).

На ринку України наявний біодеструктор «Комплезім», який містить наступні мікроорганізми: *Bacillus subtilis* та *B. licheniformis*, а також ензими мікробного походження. Дослідження показали, що біопрепарат «Комплезім» виявився дуже ефективним відносно утилізації неприємних запахів за додавання його у підпідлогові ванни для накопичення гною протягом року. Автори (Maslov et al., 2023) стверджують, що додавання цього біодеструктора до гною у підпідлогову ванну, а також до гною на відкритому повітрі в місцях його складування, прискорює утилізацію гною приблизно до двох разів швидше, ніж у традиційній системі утилізації гною. Тому вважаємо, що розроблений нами мікробний препарат «Санаеро» також проявляє ефективність у зниженні аміаку у повітрі свинарників за його застосування протягом року під час відгодівлі свиней.

За токсичністю сірководень вважається більш небезпечним, ніж аміак для організму тварин та працівників, оскільки його гранична допустима концентрація (ГДК) й летальна доза, більше як в два рази нижча (Ng et al., 2019). ГДК для сірководню до  $10 \text{ мг/м}^3$  повітря у свинарниках, а смертельна концентрація становить від  $700$  до  $1000 \text{ мг/м}^3$  протягом однохвилинної дії. Тому було досліджено активність біодеструктора «Санаеро» відносно зменшення виділення з гною сірководню. Результати виявили, що по мірі наповнення підпідлогової ванни гноєм (до п'ятої доби) концентрація сірководню збільшувалася в обох приміщеннях з  $2,0 \pm 0,1$  до  $3,1 \pm 0,2 \text{ мг/м}^3$  у дослідному повітрі, та з  $2,4 \pm 0,2$  до  $5,5 \pm 0,3 \text{ мг/м}^3$  у контрольному. Тобто у цей період концентрація сірководню була в 1,7 рази ( $P < 0,05$ ) вища у приміщеннях без застосування біодеструктора. Надалі з 5 до 17 доби динаміка накопичення сірководню у повітрі дослідних приміщень поступово знижувалася, так на 13 та 17 доби вона становила  $2,0 \pm 0,2$  та  $2,2 \pm 0,2 \text{ мг/м}^3$ , відповідно. У повітрі контрольних приміщень концентрація сірководню була в 2,7 – 2,3 рази ( $P < 0,05$ ) вища, ніж у дослідних. Це вказує на участь мікроорганізмів біодеструктора у формуванні мікробіоти гною і корекції мікробіологічного процесу.

Дослідники (Ma et al., 2021) прийшли до висновку, що *P. kudriavzevii*, *P. denitrificans* та *B. subtilis* можуть бути використані як ефективні штами, що поглинають та трансформують неприємні газы. Зокрема, швидкість відновлення аміаку та сірководню *P. kudriavzevii* становила 85,91 % та 89,79 % відповідно, *B. subtilis* мала сильну здатність розкласти газоподібний сірководень, а швидкість відновлення аміаку та сірководню становила 69,69 % та 90,80 %, відповідно. Інтенсивність відновлення аміаку та сірководню *P. denitrificans* становила 68,03 % та 81,48 %, відповідно. До того ж виявлено, що разом з цими штамами *S. cerevisiae* мав значніший вплив на видалення летких газів зі швидкістю зниження 27,7 %. У нашому біодеструкторі «Санаеро» містяться штами *B. subtilis* і *S. cerevisiae*, які будуть активно впливати на пригнічення мікроорганізмів, що розкладають органіку з утворенням сірководню. Тому застосування біологічного препарату «Санаеро» для ефективної корекції мікробіоти свинячого гною у підпідлоговій ванні для зменшення продукування токсичного газу – сірководню

є досить актуальним та екологічно привабливим заходом за інтенсивної системи вирощування свиней.

Отже, під час виробничого застосування розробленого нами біодеструктора «Санаеро» спостерігається значна позитивна кореляція щодо зменшення виділення аміаку та сірководню в повітря свинарників, порівнюючи з приміщеннями у яких біодеструктор не застосовували.

Дослідники повідомляють, що в останні роки переробка фекалій худоби стала серйозною проблемою не тільки в Україні, а й в світі загалом (Скляр, 2020, Wang et al., 2023; Song et al., 2023). Аеробна трансформація органіки свинячого гною може не тільки вирішити проблему забруднення відходами, але й перетворити ці відходи на добриво та раціонально використовувати поживні речовини у фекаліях, такі як органічні речовини, азот і фосфор (Li et al., 2011; Demir & Gülser 2015). Мікроорганізми безперервно катаболізують органічні сполуки, утворюючи багато метаболітів, причому деякі проміжні та кінцеві продукти виділяють летючі запахи (Ni et al., 2010; Pratt et al., 2015; Qin et al., 2021). Перетворення органічних речовин гною у підпідлоговій ванні відбувається за участі мікроорганізмів. Враховуючи це, наступним етапом дослідження було визначити основні мікроорганізми свинячого гною під час наповнення підпідлогової ванни за застосування розробленого нами біологічного препарату – деструктора «Санаеро».

У наших дослідах виявлено, що в рідкому свинячому гної за використання біодеструктора, у складі якого наявна *P. fluorescens*, настає її пік розвитку між 5 та 13 добами наповнення підпідлогової ванни. У контрольному гної у цей період також відмічали найвищу кількість *P. fluorescens*, але її вміст був на два порядки нижчий, ніж у дослідному. Це очевидно впливає на утворення сірководню та накопичення його у повітрі. Водночас, після 13 доби відмічаємо поступове зменшення *P. fluorescens* у гної, так на 17 добу, в середньому на один порядок, порівнюючи з 13 добою, тобто спад їх розвитку. Така закономірність пов'язана з поступовим наповненням ванни гноєм і формуванням анаеробних умов, за яких флуоресціююча паличка не здатна до розмноження, оскільки вона є аеробним мікроорганізмом (Кухтин, 2023). Активніший розвиток *P. fluorescens* у гної за

внесення біодеструктора «Санаеро» буде позитивно впливати на трансформацію азоту в ньому, оскільки флуоресціююча паличка продукує ліпази і протеази, антибіотичні речовини, розкладає леткі органічні речовини, що в кінцевому етапі пригнічує анаеробів та забезпечує детоксикацію запахів (Matusiak et al., 2016).

Також виявлено, що уже на другу добу проведення досліду кількість клітин бацил у гної за використання біодеструктора була приблизно на один порядок вища, ніж у гної в контролі,  $4,41 \log \text{ КУО/г}$ , проти  $3,73 \log \text{ КУО/г}$ . Це свідчить, що бацили нашого біологічного препарату добре адаптуються до гною й активно розмножуються навіть за такий короткий період часу. У подальшому під час наповнення гноєвої ванни різниця щодо вмісту бацил у дослідному гної проти контрольного істотно зростала. Це вказує, що додавання нашого біологічного препарату, який містить бактерії *Bacillus* spp., у свинячий гній зумовлює їх активне розмноження і збільшення на чотири порядки на дев'яту добу та участь цієї мікробіоти у ефективних процесах трансформації азоту у гноєвій ванні. У дослідженнях (Zeng et al., 2015; Ma et al., 2021) повідомляється, що дезодоруючою здатністю відносно тваринного гною володіють мікроорганізми, які були ідентифіковані як *Bacillus megaterium*, *Lactobacillus acidophilus* та *Alcaligenes faecalis*. При цьому коефіцієнт змішаної інокуляції становив  $1 : 1,5 : 0,5$ , відповідно, а коефіцієнти видалення аміаку та сірководню становили  $83,56\%$  та  $70,25\%$  відповідно. Однак не всі штами мають однакову ферментативну активність, так штам *Lactobacillus plantarum* був скринінгований та виділений (Kim et al., 2006) із зразків свинарського мулу, забезпечував видалення аміаку максимуму  $98,5\%$  після 50 годин інкубації. Складний мікробний дезодорант, який був виготовлений з *Bacillus megaterium*, *Candida tropicalis* та *Streptomyces griseus*, міг видалити понад  $80\%$  запаху курячого, свинячого та коров'ячого гною, а також понад  $65\%$  сірководню (Ye et al., 2008). Отже, наше дослідження узгоджується з вище перерахованими даними про те, що запропоновані мікроорганізми можуть ефективно видаляти неприємний їдкий газ, що утворюється з посліду худоби та птиці.

Ще однією з важливих бактерій, яка включена у наш біодеструктор була *L. plantarum*, тому закономірно ми визначали динаміку зміни цього виду у

свинячому гної за заповнення підпідлогової ванни. Результати дослідження виявили, що у гної з біодеструктором вміст *L. plantarum* був більшим протягом усього періоду заповнення гноєвої ванни, порівнюючи з гноєм без додавання біологічного препарату. Зокрема, на другу добу у гної з біодеструктором кількість *L. plantarum* становила 3,53 log КУО/г, проти 2,33 log КУО/г у контрольному гної. Протягом наступних діб наповнення гноєвої ванни кількість *L. plantarum* зростала у гної двох варіантів, натомість у дослідному – інтенсивність її збільшення була в десятки разів більша, ніж у контрольному. Так, на 9 та 13 доби дослідження кількість *L. plantarum* виявилася, в середньому на два порядки більша у гної за оброблення його біодеструктором і становила 5,91 та 6,15 log КУО/г проти 3,83 та 4,19 log КУО/г, відповідно. Це вказує, що доданий штам плантарної молочнокислої палички у біодеструктор «Санаеро» є досить активний у свинячому гної протягом усього періоду наповнення ванни. Ми вважаємо, що саме з розвитком штаму *L. plantarum* біологічного препарату «Санаеро» у гної швидше буде проходити ферментація вуглеводів, зниження рН та вплив утворених метаболітів на витіснення спороутворюючої анаеробної мікрофлори, з якою пов'язують неприємні запахи та порушення показників мікроклімату. Оскільки, згідно даних (Wong et al., 2017; Zhou et al., 2018; Huang et al., 2024) азот у гної знаходиться, в основному у формі амонійного, нітратного, органічного та аміаку, водночас амонійний азот за умов високого рН і температури легко перетворюється на газоподібний аміак і вивільняється у повітря. Тому розвиток молочнокислої мікрофлори у гної буде підкислювати його й тим самим зменшувати перехід амонію у газоподібну форму. Отже, введення у біодеструктор для свинячого гною штамів *L. plantarum* на нашу думку є ефективним та буде проявляти активний синергізм з іншими мікроорганізмами біопрепарату «Санаеро».

Найактивнішу участь у продукуванні неприємних запахів відіграє анаеробна спороутворююча мікрофлора, саме з нею пов'язують створення умов для продукування сірководню – запаху тухлих яєць (Rappert and Müller, 2005). Специфіка накопичення сірководню у тваринницьких приміщеннях полягає в тому, що він утворюється в гної в анаеробних умовах, коли мікроорганізми

розкладають органічну речовину без доступу кисню, особливо при розпаді білків, що містять сірку (Wi et al., 2020; Tabase et al., 2020). Наші дослідження виявили, що оброблення свинячого гною біодеструктором «Санаеро» сприяє гальмуванню розвитку клостридій, порівнюючи з контрольними пробами протягом усього періоду наповнення гноєвої ванни. Тобто виявлено, що мікроорганізми нашого біодеструктора впливають антагоністично на розвиток клостридій та зменшують їх кількість у гної. Зокрема, з другої по дев'яту добу заповнення підпідлогової ванни вміст бактерій *Clostridium* spp. збільшився у дослідному гної з 3,46 log КУО/г до 3,86 log КУО/г, тобто в 2,5 раза ( $P < 0,05$ ). Натомість у гної в контролі без застосування біодеструктора збільшення становило в 13,3 раза ( $P < 0,001$ ), з 3,54 log КУО/г до 4,72 log КУО/г гною. Це дає підставу вважати, що мікроорганізми біодеструктора змінюють мікробіоценоз свинячого гною, тим самим не дають активно розмножуватися спороутворюючій анаеробній мікрофлорі.

Отже, оброблення свинячого гною у підпідлоговій ванні біодеструктором «Санаеро» впливає на його загальне бактеріальне обсяння, оскільки інтенсифікуються мікробіологічні процеси, препарат ефективно оптимізує мікробіологічний склад свинячого гною, забезпечуючи біологічне збагачення субстрату та пригнічення небажаної мікрофлори.

З розвитком великомасштабних та інтенсивних тваринницьких ферм викиди неприємних запахів з цих об'єктів господарювання привернули значну увагу в останні роки (Скляр, 2020, Wang et al., 2023; Song et al., 2023). Тому активно розробляються й запроваджуються на фермах технології з управління неприємними запахами (Matusiak et al., 2016; Maslov et al., 2023; Tian et al., 2023). Серед уже існуючих технологій мікробна дезодорація є найперспективнішим методом очищення запахів завдяки своїй безпеці, тривалому ефекту дезодорації, невеликій кількості використання біопрепаратів та низькій ціні (Thomas et al., 2017). Враховуючи це, нами було досліджено зміни умовно-патогенних (*E. coli*, *S. aureus*) і патогенних (*Salmonella*) бактерій у свинячому гної під час наповнення підпідлогової ванни за застосування розробленого біологічного препарату «Санаеро».

Наше дослідження засвідчило ефективність біодеструктора «Санаеро» у зниженні вмісту умовно-патогенних мікроорганізмів у гної. Уже на другу добу після його застосування спостерігалось статистично вірогідне ( $P < 0,05$ ) зниження кількості *E. coli*, порівняно з контролем, а на п'яту та дев'яту добу – ще більш виражене пригнічення росту бактерій. Найнижчий рівень *E. coli* було зафіксовано на 13 добу, що свідчить про активізацію дії мікроорганізмів біодеструктора завдяки накопиченню продуктів метаболізму, зниженню рН та створенню несприятливого середовища для патогенів. Аналогічна тенденція виявлена щодо *S. aureus*. Його вміст у дослідному гної зменшувався значно швидше, ніж у контрольному, і на 17 добу золотистий стафілокок не виявлявся взагалі. Це свідчить про антагоністичний вплив біодеструктора на патогенну мікрофлору.

Про актуальність запровадження такої технології для покращення санітарного стану гною й середовища на свинофермах свідчать дослідження (Looft et al., 2012), які вказують на те, що свиноферми є одним із потужних біотопів для формування мікробіоценозів із бактеріями, стійкими до антибіотиків. Дійсно, повсюдна поява та поширення антибіотикорезистентних бактерій була зареєстрована у свинячих фекаліях у багатьох країнах (Yan et al., 2024; Scicchitano et al., 2024; Tong et al., 2024). Наприклад, (Zhu et al. 2021) виявили 149 унікальних антибіотикорезистентних патогенів у свинячих фекаліях та зразках компосту. На тваринницьких фермах антибіотикостійкі штами мікроорганізмів у фекаліях можуть не тільки потрапляти в навколишнє середовище через сільськогосподарські добрива (Chen et al., 2019), але й спричиняти появу та поширення цих бактерій через біоаерозоль та випаровування фекалій у повітря (McEachran et al., 2015). Це дає змогу підсумувати, що використання біодеструктора «Санаеро» є дієвим засобом у біологічному контролі мікрофлори гною, зокрема у зменшенні чисельності *E. coli* та *S. aureus*, що є особливо актуальним у контексті протидії антимікробній резистентності.

Для контролю якості мікроклімату тваринницьких приміщень важливо вивчати внесок передачі фекальних бактерій у біоаерозоль. Оскільки, більшість

патогенів, що передаються через повітря, є бактеріями, стійкими до багатьох лікарських засобів, які можуть безпосередньо спричиняти інфекції через дихальні шляхи та контакт зі шкірою (Wang et al., 2020; Gao et al., 2023). Тому було досліджено вплив застосованого біологічного препарату «Санаеро» на кількісні мікробіологічні показники повітря в приміщеннях за відгодівлі свиней. Виявлено, що мікроорганізми розробленого біодеструктора за оброблення підпідлогових гноєвих ванн у свинарниках позитивно впливали на санітарний стан повітря, зокрема сприяли зниженню бактеріального та грибкового обсіання. Уже на п'яту добу після застосування препарату кількість МАФАНМ у повітрі зменшилася у 3 рази ( $P < 0,05$ ), порівняно з другою добою і була суттєво нижчою, ніж у контрольних приміщеннях. Протягом усього періоду наповнення гноєвої ванни (до 17 доби) вміст МАФАНМ у дослідних свинарниках залишався стабільно нижчим за нормативний рівень, тоді як у контрольних – з 13 доби він перевищував допустимі значення. Це свідчить про стійкий антимікробний ефект біодеструктора «Санаеро».

Також було зафіксовано зниження грибової мікрофлори у повітрі дослідних свинарників – у 3,8 рази ( $P < 0,05$ ) за період дослідження, що є додатковим підтвердженням поліпшення мікробіологічного фону повітря. У контрольній групі кількість грибів на 17 добу була в 6,3 рази вищою, ніж у дослідній, що підкреслює ефективність біодеструктора в боротьбі не лише з бактеріями, а й з мікроскопічними грибами.

Загалом, застосування біодеструктора «Санаеро» сприяє значному покращенню мікробіологічної якості повітря у тваринницьких приміщеннях, зменшуючи ризики для здоров'я тварин і працівників ферми. До того ж результати досліджень (Vai, et al., 2022) повідомляють, що тваринницькі ферми є важливим джерелом антибіотикорезистентних бактерій та бактеріальних патогенів у повітрі сільськогосподарських середовищ, і вони можуть переноситися на великі відстані в навколишнє атмосферне середовище.

Досить актуальним є те, що оброблення гною біодеструктором впливає й на грибову мікробіоту повітря свинарників, оскільки гриби на свинофермах є важливою частиною мікробної популяції біоаерозолів (Sowiak et al., 2011).

Більшість досліджень підтверджують наявність у складі повітря родів *Aspergillus*, *Scopulariopsis*, *Penicillium* і *Cladosporium* (Viegas et al., 2013). Загалом респірабельні грибки можуть складати до 70 % від загальної їх кількості в повітрі, що становить серйозну загрозу для здоров'я обслуговуючого персоналу (Viegas et al., 2013).

Отже, застосування розробленого біодеструктора «Санаеро», до складу якого входять пробіотичні мікроорганізми (*Bacillus subtilis*, *Bacillus licheniformis*, *Lactobacillus plantarum*, *Saccharomyces cerevisiae*) суттєво активізує біологічні процеси у свинячому гної за заповнення підпідлогової гноєвої ванни, сприяє інтенсивному розвитку корисної мікробіоти та пригнічує ріст умовно-патогенних бактерій (*E. coli*, *S. aureus*) та технічно-шкідливих клостридій. Це супроводжується зменшенням газоутворенням (особливо, сірководню й аміаку), зниженням неприємного запаху (Grigorash et al., 2024), покращенням мікробного складу та мікроклімату в свинарниках. Впровадження такого біопрепарату в технологію утилізації гною є перспективним рішенням для екологізації тваринницьких підприємств.

## ВИСНОВКИ

У дисертаційному дослідженні обґрунтовано та експериментально розроблено біологічний препарат «Санаеро» для біодеструкції свинячого гною у гноєвій ванні. Визначено процеси трансформації азоту у свинячому гної у гноєвій ванні під час відгодівлі свиней за використання біодеструктора «Санаеро» та показники мікроклімату у приміщеннях свинарників. Розроблено ефективні режими застосування біодеструктора «Санаеро», які максимально знижують продукування шкідливих неприємних газів у гноєвій ванні, що забезпечує оптимальні параметри мікроклімату у свинарниках.

1. Встановлено, що показники вмісту МАФАНМ та грибів у біоаерозолі свинарників на відгодівлі залежали від пори року та тривалості відгодівлі. У зимові місяці кількість МАФАНМ у біоаерозолі свинарників протягом усього періоду відгодовування свиней була в 8,0 та 2,8 раза більша, ніж у літні та осінні місяці. Зокрема, взимку кількість МАФАНМ і грибів у біоаерозолі через 2,5 місяці відгодовування становила  $8,8 \pm 0,3 \times 10^5$  та  $1,3 \pm 0,08 \times 10^3$  КУО/м<sup>3</sup>, відповідно, а літом  $1,1 \pm 0,09 \times 10^5$  та  $8,1 \pm 0,2 \times 10^2$  КУО/м<sup>3</sup>, відповідно.

2. Виявлено відносно низьку родову й видову варіацію складу мікрофлори біоаерозолу свинарників протягом року. Основні представники мікробіоти біоаерозолу протягом року були незмінні та склалися з стафілококів, мікрококів та стрептококів, на частку яких припадало 50 – 60 % від усіх ідентифікованих бактерій. Від 20 до 26 % у складі біоаерозолу протягом року становлять грамнегативні форми бактерій.

3. Розроблено склад біологічного препарату «Санаеро» для біодеструкції свинячого гною у гноєвій ванні, у склад якого входять наступні мікроорганізми (КУО/мл): *Bacillus subtilis* – 1 млрд, *Bacillus licheniformis* – 1 млрд, *L. plantarum* – 1 млрд, *P. fluorescens* – 0,5 млрд, *S. cerevisiae* – 0,5 млрд, *Azotobacter chroococcum* – 0,5 млрд, *Cellulomonas spp.* – 0,5 млрд.

4. Розроблено технологічну блок-схему виробництва біологічного препарату на основі мікс-культур мікроорганізмів для біодеструкції свинячого гною у гноєвій ванні, яка включає операції від приготування живильних

середовищ для культивування мікроорганізмів до приготування робочого розчину у виробничих умовах.

5. Встановлено, що процес накопичення аміаку у свинячому гної з біодеструктором «Санаеро» за температури навколишнього середовища  $+ 20 - + 25$  °C проходить, в 1,5 – 2,0 раза ( $P < 0,05$ ) повільніше, ніж у гної без біодеструктора, а за температури  $+ 15 - + 17$  °C, в середньому в 1,4 раза. Це вказує, що мікроорганізми біодеструктора «Санаеро» зумовлюють утримування аміаку у гної, знижуючи перетворення його у газоподібну форму, яка забруднює повітря приміщень свинарників.

6. Динаміка концентрації нітритів у рідкому свинячому гної в гноєвій ванні протягом 17 діб її наповнення в літній період показала суттєвий вплив біодеструктора «Санаеро» на процес розпаду азотистих сполук. Зокрема, у дослідних пробах гною максимальна концентрація нітритів досягала  $17,5 \pm 0,8$  мг/л на п'яту добу, тоді як у контрольних без біодеструктора –  $24,3 \pm 1,5$  мг/л на дев'яту добу. Це вказує на швидший процес нітрифікації за присутності мікроорганізмів біодеструктора внесених у гній, за якого аміак окислюється до нітритів, тим самим зменшуючи потенційний негативний вплив нітритів на навколишнє середовище.

7. Виявлено, що нітрати у рідкому свинячому гної у гноєвій ванні мають іншу динаміку накопичення, ніж нітрити. Зокрема, концентрація нітратів у дослідному гної інтенсивно зростала протягом п'яти діб до  $63,8 \pm 4,1$  мг/л, а у контрольному протягом дев'яти діб до  $77,4 \pm 4,8$  мг/л, надалі їх концентрація знижувалася і на 17 добу становила  $22,5 \pm 0,8$  мг/л у досліді та практично в 2 рази ( $P < 0,05$ ) більша кількість у контролі –  $40,6 \pm 2,9$  мг/л. Це свідчить на швидший процес денітрифікації у гної з біодекструктором «Санаеро».

8. Застосування біодекструктора «Санаеро» істотно впливає на уповільнення втрат загального азоту через різні мікробіологічні й біохімічні процеси. Зокрема, на 17 добу наповнення гноєвої ванни у гної з біодеструктором концентрація загального азоту становила  $805 \pm 41,7$  мг/л, що в середньому в 1,6 раза ( $P < 0,05$ ) вища, ніж у гної в контролі –  $515 \pm 34,8$  мг/л. Виявлено, що мікроорганізми біодеструктора знижують рН гною у кислую сторону до 5,87 од за

його накопичення у гноєвій ванні, тим самим гальмують процеси перетворення азоту в аміак, що зменшує викид його в навколишнє середовище.

9. Найвищу концентрацію аміаку в повітрі боксів було зафіксовано на дев'яту добу у контрольних пробах –  $56,7 \pm 3,9$  мг/м<sup>3</sup> та в 2,1 раза ( $P < 0,05$ ) меншу концентрацію ( $25,8 \pm 1,7$  мг/м<sup>3</sup>) у приміщеннях, у яких добавляли до гноєвої ванни біодеструктор «Санаеро». Надалі спостерігали поступове зменшення концентрації аміаку у контрольних й дослідних приміщеннях, так на 17 добу вміст аміаку становив  $25,1 \pm 1,6$  мг/м<sup>3</sup> у повітрі в контролі та  $11,8 \pm 0,8$  мг/м<sup>3</sup> у повітрі досліді. Це свідчить про активніше виділення газоподібного аміаку з гною в повітря у контролі та повільніше у досліді з використанням біодекструктора.

10. Встановлено, що оброблення гною у свинарниках біодеструктором «Санаеро» дозволяє зменшити утворення сірководню у повітрі боксів приблизно в 2 – 3 рази, порівнюючи з контрольними боксами за температури навколишнього середовища + 20 – +25 °С. Це дозволяє покращити санітарний стан приміщень, зменшити запах та шкідливі викиди.

11. Застосування біодеструктора «Санаеро» під час наповнення гноєвої ванни свинячим гноєм сприяє активному розвитку пробіотичних мікроорганізмів, зокрема *Bacillus* spp., *Lactobacillus* spp. та *Pseudomonas* spp., кількість яких суттєво зростає вже з 2 – 5 доби, досягаючи експоненційного рівня ( $10^6$  –  $10^7$  КУО/г) на 9 – 17 доби. Одночасно спостерігається зниження чисельності шкідливих *Clostridium* spp. на 1 – 1,5 порядки, у порівнянні з контролем, умовно-патогенних бактерій (*E. coli*, *S. aureus*), що вказує на антагоністичний вплив пробіотичної мікрофлори біодеструктора.

## ПРОПОЗИЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ

1. Біодеструктор «Санаеро» застосовують на свинофермах шляхом додавання у гноєві ванни наступним чином. Відбираємо 100 мл біопрепарату (концентрату) додаємо 10 л водопровідної води температурою + 30 – + 37 °С та 200 мл меляси або цукрового сиропу, витримуємо 4 – 6 год за кімнатної температури. Після цього 1 л приготовленого робочого розчину вносимо у гноєві ванну приблизно на 1 м<sup>3</sup> рідкого свинячого гною. Через сім діб повторно вносимо препарат із таким самим розрахунком, і так протягом усього періоду наповнення гноєвої ванни. (Біологічний препарат деструктор свинячого гною «Санаеро» ТУ У 21.2–22769675–001:2025).

2. Науково-практичні рекомендації «Вплив біологічного препарату «Санаеро» для деструкції свинячого гною на показники мікроклімату у боксах відгодівлі свиней», які затверджено на засіданні науково-методичної ради ЗВО «Подільського державного університету», протокол №10 від 30.10. 2025 року.

3. Результати дисертаційної роботи пропонуються до впровадження у навчальний процес з підготовки магістрів за спеціальностями 211 – «Ветеринарна медицина» та 212 – «Ветеринарна гігієна та санітарія», зокрема в освітні компоненти: ветеринарна санітарія, гігієна тварин.

Бойко, О. В., Гончар, О. Ф., Гавриш, О. М., Небилиця, М. С., & Осокіна, Т. Г. (2022). Шляхи зменшення впливу об'єктів тваринництва на навколишнє природне середовище. *Агроекологічний журнал*, (1), 13-22.

Брошак, І. С., Бровко, О. З., Пида, С. В., & Гуйван, М. Д. (2020). Нейтралізація запахів рідких відходів свинокомплексів з використанням біопрепарату «Біопрогрес». *Сучасний рух науки: тези доп. X міжнародної науково-практичної інтернет-конференції, 2-3 квітня 2020 р.–Дніпро, 2020.–Т. 1.–811 с.*, 167.

Гаркавенко, Т. О., & Козицька, Т. Г. (2016). Механізм резистентності та методи виявлення метицилінрезистентного стафілокока (MRSA)(оглядова стаття). *Ветеринарна біотехнологія*, (28), 42-54.

Горюк, Ю., Кухтин, М., Перкій, Ю. та Горюк, В. (2018). Резистентність основних збудників маститу корів до сучасних антимікробних препаратів. *Теоретична та прикладна ветеринарна медицина*, 6 (2), 49-53.

Григораш, П., & Горюк Ю. (2024). Характеристика шкідливих газів та біоаерозолів свиноферм: огляд літератури. *НВ ЛНУ ветеринарної медицини та біотехнологій. Серія: Ветеринарні науки*, 26(113), 24-29. <https://doi.org/10.32718/nvlvet11304>

Григораш, П. Б., Горюк, Ю. В., Кухтин, М. Д., & Горюк, В. В. (2025). Мікробіологічна оцінка біоаерозолу в боксах для відгодівлі свиней. *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка*, (47), 42-51. <https://doi.org/10.37406/2706-9052-2025-2.6>

Григораш, П., & Горюк Ю. (2025). Вплив біодеструктора Санаеро на мікрофлору свинячого гною за наповнення підпідлогової ванни. *НВ ЛНУ ветеринарної медицини та біотехнологій. Серія: Ветеринарні науки*, 27(118), 189-196. <https://doi.org/10.32718/nvlvet11827>

Григораш, П., & Горюк, Ю. (2025). Санітарний стан свинячого гною та мікроклімату у свинарниках за оброблення його біодеструктором Санаеро. *One Health Journal*, 3(V), 43–53. <https://doi.org/10.31073/onehealthjournal2025-V-05>

Григораш, П.Б., та Горюк, Ю.В. (2025). Динаміка параметрів мікроклімату в свинарниках з використанням біодеструктора Sanaero. *Український журнал ветеринарних та сільськогосподарських наук*, 8 (2), 49-55.  
<https://doi.org/10.32718/ujvas8-2.09>

Дудар, А. О., Прокопчук, З. М., Частій, Т. В., & Коваленко, І. М. (2023). Швидкість формування резистентності стафілококів до антибіотиків та антисептиків. П'ятий національний форум імунологів, алергологів, мікробіологів та спеціалістів клінічної медицини: матеріали наук.-практ. конф. з міжнар. участю. Харків, Київ, 24–25 травня 2023..

ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень, МОЗ, 16 с.

ДСТУ ISO 15214:2007 Мікробіологія харчових продуктів і кормів для тварин. Горизонтальний метод підрахування мезофільних молочнокислих бактерій за температури 30 °С (ISO 15214:1998, IDT). Київ: *Мінекономрозвитку України*.

ДСТУ 4077:2001 Якість води. Терміни та визначення. Київ: *Держспоживстандарт України*.

ДСТУ ISO 4833:2006 Мікробіологія харчових продуктів і кормів для тварин. Горизонтальний метод підрахунку мікроорганізмів. Техніка підрахування колоній за температури 30 °С (ISO 4833:2003, IDT). Київ: ДП «УкрНДНЦ».

ДСТУ 7911:2015 Добрива органічні та органо-мінеральні. Методи визначення сумарної масової частки азоту та масової частки амонійного азоту. Київ: *Мінекономрозвитку України*.

Корнійчук, М. С., Заярнюк, Н. Л., Червецова, В. Г., & Федорова, О. В. (2018). Дослідження бактеріальної композиції із родів *Rhizobium* та *Azotobacter* як рідстимулювального біопрепарату для органічного землеробства. *Chemistry, Technology and Application of Substance*, 1(1), 78-82).

Коцюмбас, І. Я., Музика, В. П., & Стецько, Т. І. (2014). Стан антибіотикорезистентності мікроорганізмів–збудників бактеріальних

захворювань молодняку великої рогатої худоби і свиней. *Науковий вісник ветеринарної медицини*, (13), 117.

Кухтин М.Д. Лабораторний практикум з мікробіології молока і молочних продуктів: навчальний посібник / Кухтин М.Д., Кравченко Х.Ю. – Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2023. – 157 с.

Мирончук, В. О., & Пеленьо, Р. А. (2022). Параметри мікроклімату та мікробного навантаження приміщень для вирощування свиней У ТзОВ «ЕКО МІТ». *науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників та*, 106.

Михалко, О. Г. (2021). Вплив індустріального свинарства на навколишнє середовище. *М'ясні генотипи свиней: сьогодення та перспективи.: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників та молодих науковців (Одеса, 2 вересня 2021 р.)/Одеський*, 15.

Никифорок, О. (2014). Оцінка впливу на довкілля господарств з виробництва свинини. *ББК 65.9 (4укр) 32 Р 64*, 226.

Палапа, Н. В., & Устименко, О. В. (2024). Оцінка якості атмосферного повітря сільських селітебних територій за впливу свинарських господарств. *Агроекологічний журнал*, (4), 121-131.

Пінчук, В. О., & Бородай, В. П. (2019). Емісія аміаку та парникових газів з побічної продукції тваринного походження. *Рекомендовано до друку Вченою радою КВНЗ "Вінницька академія неперервної освіти" (протокол № 4 від 25 квітня 2019 року) Редакційна колегія*, 206.

Савченко, М. О., Корнієнко, Л. Є., & Царенко, Т. М. (2017). Стрептококова інфекція свиней, актуальні проблеми утворення антибіотикорезистентності. *Науковий вісник ветеринарної медицини*, (1), 5-15.

Скляр, Р. В. (2020). Особливості анаеробної ферментації різних видів тваринницьких відходів: Матеріали IV міжнародної науковопрактичної конференції «Біоенергетичні системи», 29 травня 2020 р. *Житомир: Поліський національний університет*, 120-123.

Тарасов, О. А., Гудзь, Н. В., & Терещенко, С. М. (2020). Вивчення чутливості штамів та ізолятів збудника бешихи свиней до антибіотиків. *Ветеринарна біотехнологія*, (37), 92-100.

Ткачук, О. П., & Врадій, О. І. (2024). Вплив свинокомплексів на забруднення атмосферного повітря. *Екологічні науки*. 1(52), 151-155.

Чемеровська, І. О., & Рубленко І. О. (2022). Проблема антибіотикорезистентності мікроорганізмів в Україні та світі. *Наук. вісник вет. медицини*, 2. 33-41.

Alexandersen, S., Quan, M., Murphy, C., Knight, J., & Zhang, Z. (2003). Studies of Quantitative Parameters of Virus Excretion and Transmission in Pigs and Cattle Experimentally Infected with Foot-and-Mouth Disease Virus. *Journal of Comparative Pathology*, 129(4), 268–282.

Alonso, I., Ibáñez-Escriche, N., Noguera, J. L., Casellas, J., Martín de Hijas-Villalba, M., Gracia-Santana, M. J., & Varona, L. (2020). Genomic differentiation among varieties of Iberian pig. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 18(1), e0401.

Alonso, C., Raynor, P. C., Davies, P. R., & Torremorell, M. (2015). Concentration, size distribution, and infectivity of airborne particles carrying swine viruses. *PloS one*, 10(8), e0135675.

Akoglu, H. (2018). User's guide to correlation coefficients. *Turkish journal of emergency medicine*, 18(3), 91-93.

Andraskar, J., Yadav, S., & Kapley, A. (2021). Challenges and control strategies of odor emission from composting operation. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 193, 2331-2356.

Arfken, A. M., Song, B., & Sung, J. S. (2015). Comparison of airborne bacterial communities from a hog farm and spray field. *Journal of microbiology and biotechnology*, 25(5), 709-717.

Awasthi, M. K., Chen, H., Awasthi, S. K., Duan, Y., Liu, T., Pandey, A., ... & Zhang, Z. (2019). Application of metagenomic analysis for detection of the reduction in the antibiotic resistance genes (ARGs) by the addition of clay during poultry manure composting. *Chemosphere*, 220, 137-145.

Awasthi, M. K., Awasthi, S. K., Wang, Q., Wang, Z., Lahori, A. H., Ren, X., ... & Zhang, Z. (2018). Retracted: Influence of biochar on volatile fatty acids accumulation and microbial community succession during biosolids composting, 158-164.

Bagnara, C., Toci, R., Gaudin, C., & Belaich, J. P. (1985). Isolation and characterization of a cellulolytic microorganism, *Cellulomonas fermentans* sp. nov. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 35(4), 502-507.

Bai, H., He, L.-Y., Wu, D.-L., Gao, F.-Z., Zhang, M., Zou, H.-Y., Yao, M.-S., & Ying, G.-G. (2022). Spread of airborne antibiotic resistance from animal farms to the environment: Dispersal pattern and exposure risk. *Environment International*, 158, 106927.

Banhazi, T. M., Rutley, D. L., & Pitchford, W. S. (2008). Identification of risk factors for sub-optimal housing conditions in Australian piggeries: Part 4. Emission factors and study recommendations. *Journal of Agricultural Safety and Health*, 14(1), 53-69.

Banhazi, T., & Rutley, D. (2013). Factors influencing water temperature on farms and the effect of warm drinking water on pig growth. *Livestock housing* (147–160). Wageningen Academic Publishers.

Banhazi, T., Ji, B., Rutley, D., & Phillips, C. J. C. (2022). Chapter 12: Modelling the effects of environmental stress on weight gain in pigs. *Practical Precision Livestock Farming* (193–210). Wageningen Academic

Bernal, M. P., Albuquerque, J. A., & Moral, R. (2009). Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review. *Bioresource technology*, 100(22), 5444-5453.

Bertora, C., Alluvione, F., Zavattaro, L., van Groenigen, J. W., Velthof, G., & Grignani, C. (2008). Pig slurry treatment modifies slurry composition, N<sub>2</sub>O, and CO<sub>2</sub> emissions after soil incorporation. *Soil Biology and Biochemistry*, 40(8), 1999–2006.

Borowski, S., Matusiak, K., Powalowski, S., Pielech-Przybylska, K., Makowski, K., Nowak, A., ... & Gutarowska, B. (2017). A novel microbial-mineral

preparation for the removal of offensive odors from poultry manure. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 119, 299-308.

Borowski, S., Gutarowska, B., Durka, K., Korczynski, M., & Opalinski, S. (2010). Biological deodorization of organic fertilizers. *Przemysl Chemiczny*, 89(4), 318-322.

Brouček, J., & Čermák, B. (2015). Emission of harmful gases from poultry farms and possibilities of their reduction. *Ekológia (Bratislava)*, 34(1), 89-100.

Browning, H. (2019). The Natural Behavior Debate: Two Conceptions of Animal Welfare. *Journal of Applied Animal Welfare Science*, 23(3), 325–337.

Bottcher, R. W. (2001). An environmental nuisance: odor concentrated and transported by dust. *Chemical senses*, 26(3), 327-331.

Buoio, E., Cialini, C., & Costa, A. (2023). Air Quality Assessment in Pig Farming: *The Italian Classyfarm*. *Animals*, 13(14), 2297.

Cao, T., Zheng, Y., & Dong, H. (2023). Control of odor emissions from livestock farms: A review. *Environmental Research*, 225, 115545.

Cardador, M. J., Reyes-Palomo, C., Díaz-Gaona, C., Arce, L., & Rodríguez-Estévez, V. (2020). Review of the Methodologies for Measurement of Greenhouse Gas Emissions in Livestock Farming: Pig Farms as a Case of Study. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, 1–19.

Chang, C. W., Chung, H., Huang, C. F., & Su, H. J. J. (2001). Exposure of workers to airborne microorganisms in open-air swine houses. *Applied and Environmental Microbiology*, 67(1), 155-161.

Chakravorty, S., Panda, S., Sinha, D., & Jain, M. S. (2025). Green Smart Composter for Revolutionizing Organic Waste Treatment. In *International Conference on Sustainable and Resilient Infrastructure* (pp. 211-221).

Chmielowiec-Korzeniowska, A., Tymczyna, L., Wlazło, Ł., Trawińska, B., & Ossowski, M. (2022). Emissions of gaseous pollutants from pig farms and methods for their reduction—a review. *Annals of Animal Science*, 22(1), 89-107.

Chmielowiec-Korzeniowska, A., Tymczyna, L., Pyrz, M., Trawinska, B., Abramczyk, K., & Dobrowolska, M. (2018). Occupational exposure level of pig

facility workers to chemical and biological pollutants. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 25(2).

Chen, M., Wang, C., Wang, B., Bai, X., Gao, H., & Huang, Y. (2019). Enzymatic mechanism of organic nitrogen conversion and ammonia formation during vegetable waste composting using two amendments. *Waste Management*, 95, 306-315.

Chen, S., Luo, S., & Yan, C. (2021). Gut Microbiota Implications for Health and Welfare in Farm Animals: A Review. *Animals*, 12(1), 93.

Chen, M., Qiu, T., Sun, Y., Song, Y., Wang, X., & Gao, M. (2019). Diversity of tetracycline-and erythromycin-resistant bacteria in aerosols and manures from four types of animal farms in China. *Environmental Science and Pollution Research*, 26, 24213-24222.

Chen, Y., Wang, X., He, S., Zhu, S., & Shen, S. (2016). The performance of a two-layer biotrickling filter filled with new mixed packing materials for the removal of H<sub>2</sub>S from air. *Journal of Environmental Management*, 165, 11-16.

Cherubini, E., Zanghelini, G. M., Alvarenga, R. A. F., Franco, D., & Soares, S. R. (2015). Life cycle assessment of swine production in Brazil: a comparison of four manure management systems. *Journal of Cleaner Production*, 87, 68–77.

Conn, K. L., E. Topp, and G. Lazarovits (2007) Factors influencing the concentration of volatile fatty acids, ammonia, and other nutrients in stored liquid pig manure. *J. Environ. Qual.* 36: 440–447.

Costa, A. (2017). Ammonia Concentrations and Emissions from Finishing Pigs Reared in Different Growing Rooms. *Journal of Environmental Quality*, 46(2), 255–260.

Danko, D., Bezdan, D., Afshin, E. E., Ahsanuddin, S., Bhattacharya, C., Butler, D. J., ... & Bittner, L. (2021). A global metagenomic map of urban microbiomes and antimicrobial resistance. *Cell*, 184(13), 3376-3393.

Demir, Z., & Gülser, C. (2015). Effects of rice husk compost application on soil quality parameters in greenhouse conditions. *Eurasian Journal of Soil Science*, 4(3), 185-190.

Deng, Z., Geng, X., Shi, M., Chen, X., & Wei, Z. (2023). Вплив різного вмісту вологи на виділення сірководню смердючого газу під час компостування. *Bioresource Technology*, 380, 129093.

De Rodas, B., Youmans, B. P., Danzeisen, J. L., Tran, H., & Johnson, T. J. (2018). Microbiome profiling of commercial pigs from farrow to finish. *Journal of Animal Science*, 96(5), 1778–1794.

Directive (EU) 2016/2284 of the European Parliament on the reduction of national emissions of certain atmospheric pollutants, amending directive 2003/35/EC and repealing directive 2001/81/EC.

Dohmen, W., Schmitt, H., Bonten, M., & Heederik, D. (2017). Air exposure as a possible route for ESBL in pig farmers. *Environmental Research*, 155, 359-364.

Donham, K. J. (2000). The Concentration of Swine Production: Effects on Swine Health, Productivity, Human Health, and the Environment. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, 16(3), 559–597.

Dorca-Preda, T., Mogensen, L., Kristensen, T., & Knudsen, M. T. (2021). Environmental impact of Danish pork at slaughterhouse gate—a life cycle assessment following biological and technological changes over a 10-year period. *Livestock Science*, 251, 104622.

Douglas, P., Robertson, S., Gay, R., Hansell, A. L., & Gant, T. W. (2018). A systematic review of the public health risks of bioaerosols from intensive farming. *International journal of hygiene and environmental health*, 221(2), 134-173.

Duan, M., Zhang, Y., Zhou, B., Qin, Z., Wu, J., Wang, Q., & Yin, Y. (2020). Effects of *Bacillus subtilis* on carbon components and microbial functional metabolism during cow manure–straw composting. *Bioresource Technology*, 303, 122868.

Dumont, E., Lagadec, S., Landrain, P., Landrain, B., & Andres, Y. (2014). N<sub>2</sub>O generation resulting from piggery air biofiltration. *Chemical engineering journal*, 248, 337-341.

Eduard, W., Douwes, J., Omenaas, E., & Heederik, D. (2004). Do farming exposures cause or prevent asthma? Results from a study of adult Norwegian farmers. *Thorax*, 59(5), 381-386.

Enticknap, J. J., Nonogaki, H., Place, A. R., & Hill, R. T. (2006). Microbial diversity associated with odor modification for production of fertilizers from chicken litter. *Applied and Environmental Microbiology*, 72(6), 4105-4114.

European Commission EU Climate Action: Key targets for 2030. URL: [https://ec.europa.eu/clima/citizens/eu\\_en](https://ec.europa.eu/clima/citizens/eu_en).

Ferreira, J. B., Grgić, H., Friendship, R., Nagy, E., & Poljak, Z. (2018). Influence of microclimate conditions on the cumulative exposure of nursery pigs to swine influenza A viruses. *Transboundary and emerging diseases*, 65(1), e145-e154.

Food and Agriculture Organization (FAO). 2022. The Food and Agriculture Organisation (FAO) of the United Nations' Statistical database – FAOSTATData-Production indices.

Forcada, F., & Abecia, J. A. (2019). How pigs influence indoor air properties in intensive farming: practical implications—a review. *Annals of Animal Science*, 19(1), 31-47.

Gao, F. Z., He, L. Y., Bai, H., He, L. X., Zhang, M., Chen, Z. Y., ... & Ying, G. G. (2023). Airborne bacterial community and antibiotic resistome in the swine farming environment: metagenomic insights into livestock relevance, pathogen hosts and public risks. *Environment International*, 172, 107751.

Garkavenko, T. O., Gorbatyuk, O. I., Dybkova, S. M., Kozytska, T. G., Andriiashchuk, V. O., Kukhtyn, M. D., & Horiuk, Y. V. (2021). Screening of Epidemiologically Significant Mechanisms of Antibiotics to  $\beta$ -Lactams in Enterobacteriaceae-Pathogens of Zoonoses. *Journal of Pure & Applied Microbiology*, 15(3).

Gibbs, S. G., Green, C. F., Tarwater, P. M., Mota, L. C., Mena, K. D., & Scarpino, P. V. (2006). Isolation of Antibiotic-Resistant Bacteria from the Air Plume Downwind of a Swine Confined or Concentrated Animal Feeding Operation. *Environmental Health Perspectives*, 114(7), 1032–1037.

Gladding, T. L., Rolph, C. A., Gwyther, C. L., Kinnersley, R., Walsh, K., & Tyrrel, S. (2020). Concentration and composition of bioaerosol emissions from intensive farms: Pig and poultry livestock. *Journal of Environmental Management*, 272, 111052.

González, N., Marquès, M., Nadal, M., & Domingo, J. L. (2020). Meat consumption: Which are the current global risks? A review of recent (2010–2020) evidences. *Food Research International*, *137*, 109341.

Gutarowska, B., Matusiak, K., Borowski, S., Rajkowska, A., & Brycki, B. (2014). Removal of odorous compounds from poultry manure by microorganisms on perlite–bentonite carrier. *Journal of environmental management*, *141*, 70-76.

Hamoda, M. F., & Alshalahi, S. F. (2021). Assessment of hydrogen sulfide emission in a wastewater pumping station. *Environmental Monitoring and Assessment*, *193*(6), 352.

Hamon, L., Andrès, Y., & Dumont, E. (2012). Aerial Pollutants in Swine Buildings: A Review of Their Characterization and Methods to Reduce Them. *Environmental Science & Technology*, *46*(22), 12287–12301.

Hartikainen, T., Ruuskanen, J., & Martikainen, P. J. (2001). Carbon disulfide and hydrogen sulfide removal with a peat biofilter. *Journal of the Air & Waste Management Association*, *51*(3), 387-392.

Higa, T., & Parr, J. F. (1994). *Beneficial and effective microorganisms for a sustainable agriculture and environment* (Vol. 1, pp. 16-16). Atami, Japan: International Nature Farming Research Center.

Hong, P.-Y., Li, X., Yang, X., Shinkai, T., Zhang, Y., Wang, X., & Mackie, R. I. (2012). Monitoring airborne biotic contaminants in the indoor environment of pig and poultry confinement buildings. *Environmental Microbiology*, *14*(6), 1420–1431.

He, T., Zhang, W., Zhang, H., & Sheng, J. (2023). Estimation of Manure Emissions Issued from Different Chinese Livestock Species: Potential of Future Production. *Agriculture*, *13*(11), 2143.

Horiuk, Y. V., Kukhtyn, M. D., Stravskyy, Y. S., Klymnyuk, S. I., Vergeles, K. M., & Horiuk, V. V. (2019). Influence of staphylococcal phage SAvB14 on biofilms, formed by *Staphylococcus aureus* variant *bovis*. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*, *10*(3).

Horiuk, Y. V., Havrylianchyk, R. Y., Horiuk, V. V., Kukhtyn, M. D., Stravskyy, Y. S., & Fotina, H. A. (2018). Comparison of the minimum bactericidal concentration of antibiotics on planktonic and biofilm forms of *Staphylococcus aureus*: Mastitis

causative agents. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*, 9(6), 616-622.

Huang, W., Shi, H., Weng, Q., Ding, S., & Lou, L. (2024). Disparities and mechanisms of carbon and nitrogen conversion during food waste composting with different bulking agents. *Journal of Environmental Management*, 351, 119629.

Huijbers, P. M., Blaak, H., de Jong, M. C., Graat, E. A., Vandenbroucke-Grauls, C. M., & de Roda Husman, A. M. (2015). Role of the environment in the transmission of antimicrobial resistance to humans: a review. *Environmental science & technology*, 49(20), 11993-12004.

Jaber, M. B., Couvert, A., Amrane, A., Le Cloirec, P., & Dumont, E. (2017). Removal of hydrogen sulfide in air using cellular concrete waste: Biotic and abiotic filtrations. *Chemical Engineering Journal*, 319, 268-278.

Jiang, X., Qin, Z., Feng, L., Chen, Y., Chen, J., Zhang, X., ... & Sun, J. (2021). Volatile fatty acids production from waste activated sludge during anaerobic fermentation: The effect of superfine sand. *Bioresource Technology*, 319, 124249.

Jiang, Y., Dennehy, C., Lawlor, P. G., Hu, Z., McCabe, M., Cormican, P., ... & Gardiner, G. E. (2018). Inhibition of volatile fatty acids on methane production kinetics during dry co-digestion of food waste and pig manure. *Waste Management*, 79, 302-311.

Jung, S., Seo, D. J., Yeo, D., Wang, Z., Min, A., Zhao, Z., ... & Choi, C. (2020). Experimental infection of hepatitis E virus induces pancreatic necroptosis in miniature pigs. *Scientific Reports*, 10(1), 12022.

Kang, M. S., Im, W. T., Jung, H. M., Kim, M. K., Goodfellow, M., Kim, K. K., ... & Lee, S. T. (2007). *Cellulomonas composti* sp. nov., a cellulolytic bacterium isolated from cattle farm compost. *International journal of systematic and evolutionary microbiology*, 57(6), 1256-1260.

Kim, J. D., & Park, K. M. (2006). Effectiveness of *Lactobacillus plantarum* strain KJ-10311 to remove characteristic malodorous gases in piggery slurry. *Asian - Australasian Journal of Animal Sciences*, 19, 144-152.

Koul, B., Yakoob, M., & Shah, M. P. (2022). Agricultural waste management strategies for environmental sustainability. *Environmental Research*, 206, 112285.

Kraemer, J. G., Aebi, S., Oppliger, A., & Hilty, M. (2019). The Indoor-Air Microbiota of Pig Farms Drives the Composition of the Pig Farmers' Nasal Microbiota in a Season-Dependent and Farm-Specific Manner. *Applied and Environmental Microbiology*, 85(9), e03038-18.

Krystallis, A., Grunert, K. G., de Barcellos, M. D., Perrea, T., & Verbeke, W. (2012). Consumer attitudes towards sustainability aspects of food production: Insights from three continents. *Journal of Marketing Management*, 28(3-4), 334–372.

Krzysztofik, B. (1992). Mikrobiologia Powietrza [Microbiology of the Atmosphere]. *Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej, Warsaw*.

Kukhtyn, M., Malimon, Z., Salata, V., Rogalsky, I., Gutyj, B., Kladnytska, L., ... & Horiuk, Y. (2022). The effects of antimicrobial residues on microbiological content and the antibiotic resistance in frozen fish. *World's Veterinary Journal*, (4), 374-381.

Kukhtyn, M., Horiuk, Y., Yaroshenko, T., Laiter-Moskaliuk, S., Levytska, V., & Reshetnyk, A. (2018). Effect of lactic acid microorganisms on the content of nitrates in tomato in the process of pickling. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, (1)11, 69-75.

Kukhtyn, M., Berhilevych, O., Kravcheniuk, K., Shynkaruk, O., Horyuk, Y., & Semaniuk, N. (2017). The influence of disinfectants on microbial biofilms of dairy equipment. *EUREKA: Life Sciences*, (5), 11-17.

Leung, M. H. Y., Tong, X., Bøifot, K. O., Bezdan, D., Butler, D. J., Danko, D. C., ... & Lee, P. K. H. (2021). Characterization of the public transit air microbiome and resistome reveals geographical specificity. *Microbiome*, 9(1), 112.

Li, C., Zhang, C., Ran, F., Yao, T., Lan, X., Li, H., ... & Cui, X. (2024). Effects of microbial deodorizer on pig feces fermentation and the underlying deodorizing mechanism. *Waste Management*, 174, 174-186.

Li, C., Li, H., Yao, T., Su, M., Ran, F., Li, J., ... & Qiu, H. (2021). Effects of swine manure composting by microbial inoculation: Heavy metal fractions, humic substances, and bacterial community metabolism. *Journal of Hazardous Materials*, 415, 125559.

Li, C., Li, H., Yao, T., Su, M., Li, J., Liu, Z., ... & Gun, S. (2020). Effects of microbial inoculation on enzyme activity, available nitrogen content, and bacterial succession during pig manure composting. *Bioresource Technology*, *306*, 123167.

Li, J., Cao, J., Zhu, Y. G., Chen, Q. L., Shen, F., Wu, Y., ... & Yao, M. (2018). Global survey of antibiotic resistance genes in air. *Environmental science & technology*, *52*(19), 10975-10984.

Li, R., Wang, J. J., Zhang, Z., Shen, F., Zhang, G., Qin, R., ... & Xiao, R. (2012). Nutrient transformations during composting of pig manure with bentonite. *Bioresource Technology*, *121*, 362-368.

Li, J. T., Zhong, X. L., Wang, F., & Zhao, Q. G. (2011). Effect of poultry litter and livestock manure on soil physical and biological indicators in a rice-wheat rotation system. *Plant Soil Environ*, *57*(8), 351-356.

Lim, L. Y., Bong, C. P. C., Chua, L. S., & Lee, C. T. (2015). Physicochemical profile of microbial-assisted composting on empty fruit bunches of oil palm trees. *Environmental Science and Pollution Research*, *22*, 19814-19822.

Lin, L., & Li, X. Y. (2018). Acidogenic fermentation of iron-enhanced primary sedimentation sludge under different pH conditions for production of volatile fatty acids. *Chemosphere*, *194*, 692-700.

Liu, T., Li, G., Liu, Z., Xi, L., Ma, W., & Gao, X. (2023). Characteristics of aerosols from swine farms: A review of the past two-decade progress. *Environment International*, 108074.

Liu, Y., Ding, L., Wang, B., He, Q., & Wan, D. (2020). Using the modified pine wood as a novel recyclable bulking agent for sewage sludge composting: Effect on nitrogen conversion and microbial community structures. *Bioresource Technology*, *309*, 123357.

Liu, L., Guo, Y., Bai, Z., Cao, Y., Tu, Y., Wang, Z., Li, Y., Wu, Z., & Ma, L. (2019). Reducing phosphorus excretion and loss potential by using a soluble supplement source for swine and poultry. *Journal of Cleaner Production*, *237*, 117654.

Looff, T., Johnson, T. A., Allen, H. K., Bayles, D. O., Alt, D. P., Stedtfeld, R. D., ... & Stanton, T. B. (2012). In-feed antibiotic effects on the swine intestinal microbiome. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *109*(5), 1691-1696.

Lyu, H., Li, Y., Wang, Y., Wang, P., Shang, Y., Yang, X., ... & Yu, A. (2024). Drive soil nitrogen transformation and improve crop nitrogen absorption and utilization-a review of green manure applications. *Frontiers in Plant Science*, *14*, 1305600.

Luiken, R. E., Heederik, D. J., Scherpenisse, P., Van Gompel, L., van Heijnsbergen, E., Greve, G. D., ... & Schmitt, H. (2022). Determinants for antimicrobial resistance genes in farm dust on 333 poultry and pig farms in nine European countries. *Environmental Research*, *208*, 112715.

Luiken, R. E. C., Van Gompel, L., Bossers, A., Munk, P., Joosten, P., Hansen, R. B., Knudsen, B. E., García-Cobos, S., Dewulf, J., Aarestrup, F. M., Wagenaar, J.A., Smit, L. A. M., Mevius, D. J., Heederik, D. J. J., & Schmitt, H. (2020). Farm dust resistomes and bacterial microbiomes in European poultry and pig farms. *Environment International*, *143*, 105971.

Lusk, J. L., Blaustein-Rejto, D., Shah, S., & Tonsor, G. T. (2022). Impact of plant-based meat alternatives on cattle inventories and greenhouse gas emissions. *Environmental Research Letters*, *17*, 024035.

Ma, S., Yang, D., Xu, K., Li, K., & Ren, H. (2021a). Bacterial survival strategies in sludge alkaline fermentation for volatile fatty acids production: Study on the physiological properties, temporal evolution and spatial distribution of bacterial community. *Bioresource Technology*, *340*, 125701.

Ma, H., Li, F., Niyitanga, E., Chai, X., Wang, S., & Liu, Y. (2021b). The odor release regularity of livestock and poultry manure and the screening of deodorizing strains. *Microorganisms*, *9*(12), 2488.

Ma, H., Chen, X., Liu, H., Liu, H., & Fu, B. (2016). Improved volatile fatty acids anaerobic production from waste activated sludge by pH regulation: alkaline or neutral pH?. *Waste management*, *48*, 397-403.

Mariuzza, D., Lin, J. C., Volpe, M., Fiori, L., Ceylan, S., & Goldfarb, J. L. (2022). Impact of Co-Hydrothermal carbonization of animal and agricultural waste on hydrochars' soil amendment and solid fuel properties. *Biomass and Bioenergy*, *157*, 106329.

Martinez, J., & von Nolting, C. (2023). Review: “Animal welfare” – A European concept. *Animal*, 17, 100839.

Matusiak, K., Oleksy, M., Borowski, S., Nowak, A., Korczyński, M., Dobrzański, Z., & Gutarowska, B. (2016). The use of *Yucca schidigera* and microbial preparation for poultry manure deodorization and hygienization. *Journal of environmental management*, 170, 50-59.

Maslov, V. I., Lyman, V. O., Ivanov, V. O. & Onishchenko, A. O. (2023). Disposal of manure at the piggery using biodestructors of different origin. *The Scientific and Technical Bulletin of Livestock farming institute of NAAS*, 130, 156 – 166.

Matiz-Villamil, A., Méndez-Carranza, K. J., Pascagaza-Pulido, A. F., Rendón-Rendón, T., Noriega-Noriega, J., & Pulido-Villamarín, A. (2023). Trends in the management of organic swine farm waste by composting: A systematic review. *Heliyon*, 9(8).

McEachran, A. D., Blackwell, B. R., Hanson, J. D., Wooten, K. J., Mayer, G. D., Cox, S. B., & Smith, P. N. (2015). Antibiotics, bacteria, and antibiotic resistance genes: aerial transport from cattle feed yards via particulate matter. *Environmental health perspectives*, 123(4), 337-343.

Mielcarek-Bocheńska, P., & Rzeźnik, W. (2019). The impact of microclimate parameters on odour emissions from pig production in spring. *Ecological Chemistry and Engineering S*, 26(4), 697-707.

Meng, L., Li, W., Zhang, S., Zhang, X., Zhao, Y., & Chen, L. (2021). Improving sewage sludge compost process and quality by carbon sources addition. *Scientific Reports*, 11(1), 1319.

Meng, L., Li, W., Zhang, S., Wu, C., Jiang, W., & Sha, C. (2016). Effect of different extra carbon sources on nitrogen loss control and the change of bacterial populations in sewage sludge composting. *Ecological Engineering*, 94, 238-243.

Mi, J., Chen, X., & Liao, X. (2019). Screening of single or combined administration of 9 probiotics to reduce ammonia emissions from laying hens. *Poultry science*, 98(9), 3977-3988.

Mocherniuk, M., Kukhtyn, M., & Horiuk, Y. (2023). Sensitivity of microbiota of bioaerosol and surfaces of boxes for holding animals in veterinary clinics to antimicrobial drugs. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Veterinary Sciences*, 25(109), 53-58.

Mocherniuk, M. M., Kukhtyn, M. D., Horiuk, Y. V., Horiuk, V. V., Tsvigun, O. A., & Tokarchuk, T. S. (2022). Microflora of boxes for holding veterinary patients in clinics. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*, 13(3), 257–264.

Nakhshiniev, B., Perera, C., Biddinika, M. K., Gonzales, H. B., Sumida, H., & Yoshikawa, K. (2014). Reducing ammonia volatilization during composting of organic waste through addition of hydrothermally treated lignocellulose. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 96, 58-62.

Ni, J. Q., Heber, A. J., Hanni, S. M., Lim, T. T., & Diehl, C. A. (2010). Characteristics of ammonia and carbon dioxide releases from layer hen manure. *British poultry science*, 51(3), 326-334.

Noblet, J., Wu, S.-B., & Choct, M. (2022). Methodologies for energy evaluation of pig and poultry feeds: A review. *Animal Nutrition*, 8, 185–203.

Pagans, E., Barrena, R., Font, X., & Sánchez, A. (2006). Ammonia emissions from the composting of different organic wastes. Dependency on process temperature. *Chemosphere*, 62(9), 1534-1542.

Panchasara, H., Samrat, N. H., & Islam, N. (2021). Greenhouse Gas Emissions Trends and Mitigation Measures in Australian Agriculture Sector — A Review. *Agriculture*, 11(2), 85.

Pei, M., Zhang, B., He, Y., Su, J., Gin, K., Lev, O., ... & Hu, S. (2019). State of the art of tertiary treatment technologies for controlling antibiotic resistance in wastewater treatment plants. *Environment international*, 131, 105026.

Pexas, G., Mackenzie, S. G., Wallace, M., & Kyriazakis, I. (2020). Cost-effectiveness of environmental impact abatement measures in a European pig production system. *Agricultural Systems*, 182, 102843.

Pierer, M., Amon, B., & Winiwarter, W. (2016). Adapting feeding methods for less nitrogen pollution from pig and dairy cattle farming: abatement costs and uncertainties. *Nutrient cycling in agroecosystems*, 104, 201–220.

Pratt, C., Redding, M., Hill, J., & Jensen, P. D. (2015). Does manure management affect the latent greenhouse gas emitting potential of livestock manures?. *Waste management*, 46, 568-576.

Qiu, Z., Li, M., Song, L., Wang, C., Yang, S., Yan, Z., & Wang, Y. (2021a). Study on nitrogen-retaining microbial agent to reduce nitrogen loss during chicken manure composting and nitrogen transformation mechanism. *Journal of Cleaner Production*, 285, 124813.

Qin, Z., Deng, S., Dunn, J., Smith, P., & Sun, W. (2021b). Animal waste use and implications to agricultural greenhouse gas emissions in the United States. *Environmental Research Letters*, 16(6), 064079.

Rappert, S., & Müller, R. (2005). Odor compounds in waste gas emissions from agricultural operations and food industries. *Waste Management*, 25(9), 887-907.

Ren, X., Wang, Q., Chen, X., He, Y., Li, R., Li, J., & Zhang, Z. (2021). Pathways and mechanisms of nitrogen transformation during co-composting of pig manure and diatomite. *Bioresource Technology*, 329, 124914.

Ren, G., Xu, X., Qu, J., Zhu, L., & Wang, T. (2016). Evaluation of microbial population dynamics in the co-composting of cow manure and rice straw using high throughput sequencing analysis. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 32, 1-11.

Reshetnyk, A. A., Smoljak, V. V., & Layter–Moskalyuk, S. V. (2016). Стан добробуту свиней у промисловому свинарстві. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Veterinary Sciences*, 18(4 (72)), 66-71.

Rincón, C. A., De Guardia, A., Couvert, A., Soutrel, I., Guezel, S., & Le Serrec, C. (2019). Odor generation patterns during different operational composting stages of anaerobically digested sewage sludge. *Waste Management*, 95, 661-673.

Rodríguez de Evgrafov, M., Köll, P., Frank, D. N., Baumgartner, L. K., Robertson, C. E., Hernández, M. T., & Pace, N. R. (2013). Molecular Analysis of Bacterial and Circovirus Bioaerosols in Concentrated Animal Feeding Operations. *Aerosol Science and Technology*, 47(7), 755–766.

Salata, V., Kukhtyn, M., Pekriy, Y., Horiuk, Y., & Horiuk, V. (2018). Activity of washing-disinfecting means “Sanactive” for sanitary treatment of equipment of meat processing enterprises in laboratory and manufacturing conditions. *Ukrainian journal of veterinary and agricultural sciences*, 1(1), 10–16.

Sánchez, Ó. J., Ospina, D. A., & Montoya, S. (2017). Compost supplementation with nutrients and microorganisms in composting process. *Waste management*, 69, 136-153.

Sánchez, A., Artola, A., Font, X., Gea, T., Barrena, R., Gabriel, D., ... & Mondini, C. (2015). Greenhouse gas emissions from organic waste composting. *Environmental chemistry letters*, 13, 223-238.

Santonja, G. G., Georgitzikis, K., Scalet, B. M., Montobbio, P., Roudier, S., & Sancho, L. D. (2017). Best available techniques (BAT) reference document for the intensive rearing of poultry or pigs. EUR 28674 EN, 11, 898.

Scicchitano, D., Leuzzi, D., Babbi, G., Palladino, G., Turrone, S., Laczny, C. C., ... & Rampelli, S. (2024). Dispersion of antimicrobial resistant bacteria in pig farms and in the surrounding environment. *Animal Microbiome*, 6(1), 17.

Shen, Y., Chen, T. B., Gao, D., Zheng, G., Liu, H., & Yang, Q. (2012). Online monitoring of volatile organic compound production and emission during sewage sludge composting. *Bioresource Technology*, 123, 463-470.

Shafiullah, M., Khalid, U., & Shahbaz, M. (2020). Does meat consumption exacerbate greenhouse gas emissions? Evidence from US data. *Environmental Science and Pollution Research*. 28, 11415–11429.

Shi, M., Zhao, X., Zhu, L., Wu, J., Mohamed, T. A., Zhang, X., ... & Wei, Z. (2020). Elucidating the negative effect of denitrification on aromatic humic substance formation during sludge aerobic fermentation. *Journal of hazardous materials*, 388, 122086.

Shi, J., Zhan, Y., Zhou, M., He, M., Wang, Q., Li, X., ... & Chen, S. (2019). High-level production of short branched-chain fatty acids from waste materials by genetically modified *Bacillus licheniformis*. *Bioresource Technology*, 271, 325-331.

Sigsgaard, T., Basinas, I., Doekes, G., De Blay, F., Folletti, I., Heederik, D., ... & Siracusa, A. (2020). Respiratory diseases and allergy in farmers working with livestock: a EAACI position paper. *Clinical and Translational Allergy*, *10*, 1-30.

Skodra, D., Kyriklidis, C., Lakioti, E., Karayannis, V., & Tsanaktsidis, C. (2025). Solutions towards a circular bio-economy for a sustainable society and public health—the case of safe food industry waste management in Greece. *Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration*, 1-10.

Song, H., Peng, C., Zhang, K., Li, T., Yang, M., Liu, Q., & Zhu, Q. (2023). Quantifying patterns, sources and uncertainty of nitrous oxide emissions from global grazing lands: Nitrogen forms are the determinant factors for estimation and mitigation. *Global and Planetary Change*, *223*, 104080.

Song, L., Wang, C., Jiang, G., Ma, J., Li, Y., Chen, H., & Guo, J. (2021). Bioaerosol is an important transmission route of antibiotic resistance genes in pig farms. *Environment International*, *154*, 106559.

Sowiak, M., Bródka, K., Buczyńska, A., Cyprowski, M., Kozajda, A., Sobala, W., & Szadkowska-Stańczyk, I. (2011). An assessment of potential exposure to bioaerosols among swine farm workers with particular reference to airborne microorganisms in the respirable fraction under various breeding conditions. *Aerobiologia*, *28*(2), 121–133.

Stetsko, T. I. (2021). Antibiotic resistance of bacteria of the family pasteurellaceae, pathogens of respiratory infections of cattle and pigs. *Scientific and Technical Bulletin of State Scientific Research Control Institute of Veterinary Medical Products and Fodder Additives and Institute of Animal Biology*, *22*(1), 197-208.

Strube, M. L., Hansen, J. E., Rasmussen, S., & Pedersen, K. (2018). A detailed investigation of the porcine skin and nose microbiome using universal and *Staphylococcus* specific primers. *Scientific reports*, *8*(1), 12751.

Tabase, R. K., Millet, S., Brusselman, E., Ampe, B., De Cuyper, C., Sonck, B., & Demeyer, P. (2020). Effect of ventilation control settings on ammonia and odour emissions from a pig rearing building. *Biosystems Engineering*, *192*, 215-231.

Takai, H., & Banhazi, T. (2018). Oil-spraying technologies to be used for dust reduction in livestock buildings. *Air Quality and Livestock Farming* (325–339). CRC Press.

Tang, B., Elbediwi, M., Nambiar, R. B., Yang, H., Lin, J., & Yue, M. (2022). Genomic Characterization of Antimicrobial-Resistant *Salmonella enterica* in Duck, Chicken, and Pig Farms and Retail Markets in Eastern China. *Microbiology Spectrum*, *10*(5), e01257-22.

Tian, X., Gao, R., Li, Y., Liu, Y., Zhang, X., Pan, J., ... & Li, R. (2023). Enhancing nitrogen conversion and microbial dynamics in swine manure composting process through inoculation with a microbial consortium. *Journal of Cleaner Production*, *423*, 138819

Tian, M., He, X., Feng, Y., Wang, W., Chen, H., Gong, M., Liu, D., Clarke, J. L., & van Eerde, A. (2021). Pollution by Antibiotics and Antimicrobial Resistance in LiveStock and Poultry Manure in China, and Countermeasures. *Antibiotics*, *10*(5), 539.

Thomas, M., Webb, M., Ghimire, S., Blair, A., Olson, K., Fenske, G. J., ... & Scaria, J. (2017). Metagenomic characterization of the effect of feed additives on the gut microbiome and antibiotic resistome of feedlot cattle. *Scientific reports*, *7*(1), 12257.

Tong, B., Wang, X., Wang, S., Ma, L., & Ma, W. (2019). Transformation of nitrogen and carbon during composting of manure litter with different methods. *Bioresource technology*, *293*, 122046.

Tong, C. H., Huo, Z. P., Diao, L., Xiao, D. Y., Zhao, R. N., Zeng, Z. L., & Xiong, W. G. (2024). Core and variable antimicrobial resistance genes in the gut microbiomes of Chinese and European pigs. *Zoological Research*, *45*(1), 189.

Van Boeckel, T. P., Pires, J., Silvester, R., Zhao, C., Song, J., Criscuolo, N. G., ... & Laxminarayan, R. (2019). Global trends in antimicrobial resistance in animals in low-and middle-income countries. *Science*, *365*(6459), eaaw1944.

Vechi, N. T., Jensen, N. S., & Scheutz, C. (2022). Methane emissions from five Danish pig farms: Mitigation strategies and inventory estimated emissions. *Journal of Environmental Management*, *317*, 115319.

Vestergaard, D. V., Holst, G. J., Basinas, I., Elholm, G., Schlünssen, V., Linneberg, A., ... & Marshall, I. P. (2018). Pig farmers' homes harbor more diverse airborne bacterial communities than pig stables or suburban homes. *Frontiers in microbiology*, 9, 870.

Viegas, S., Veiga, L., Figueredo, P., Almeida, A., Carolino, E., Sabino, R., Veríssimo, C., & Viegas, C. (2013). Occupational exposure to aflatoxin B1: the case of poultry and swine production. *World Mycotoxin Journal*, 6(3), 309–315.

Visscher, P. T., & Taylor, B. F. (1993). Aerobic and anaerobic degradation of a range of alkyl sulfides by a denitrifying marine bacterium. *Applied and Environmental Microbiology*, 59(12), 4083-4089.

Wang, Z., Xing, A., & Shen, H. (2023). Effects of nitrogen addition on the combined global warming potential of three major soil greenhouse gases: A global meta-analysis. *Environmental Pollution*, 334, 121848.

Wang, J., & Chen, X. (2022). Removal of antibiotic resistance genes (ARGs) in various wastewater treatment processes: An overview. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 52(4), 571-630.

Wang, C. C., Prather, K. A., Sznitman, J., Jimenez, J. L., Lakdawala, S. S., Tufekci, Z., & Marr, L. C. (2021a). Airborne transmission of respiratory viruses. *Science*, 373(6558), eabd9149.

Wang, Y. C., Han, M. F., Jia, T. P., Hu, X. R., Zhu, H. Q., Tong, Z., ... & Hsi, H. C. (2021b). Emissions, measurement, and control of odor in livestock farms: A review. *Science of The Total Environment*, 776, 145735.

Wang, C., Song, L., Zhang, Z., Wang, Y., & Xie, X. (2020). Microwave-induced release and degradation of airborne antibiotic resistance genes (ARGs) from *Escherichia coli* bioaerosol based on microwave absorbing material. *Journal of hazardous materials*, 394, 122535.

Wang, K., Mao, H., Wang, Z., & Tian, Y. (2018). Succession of organics metabolic function of bacterial community in swine manure composting. *Journal of hazardous materials*, 360, 471-480.

Wi, J., Lee, S., Kim, E., Lee, M., Koziel, J. A., & Ahn, H. (2020). Effects of treated manure conditions on ammonia and hydrogen sulfide emissions from a swine

finishing barn equipped with semicontinuous pit recharge system in summer. *Atmosphere*, 11(7), 713.

Wing, S., Horton, R. A., Marshall, S. W., Thu, K., Tajik, M., Schinasi, L., & Schiffman, S. S. (2008). Air pollution and odor in communities near industrial swine operations. *Environmental health perspectives*, 116(10), 1362-1368.

Wong, J. W., Karthikeyan, O. P., & Selvam, A. (2017). Biological nutrient transformation during composting of pig manure and paper waste. *Environmental technology*, 38(6), 754-761.

Wysocka, I., Gębicki, J., & Namieśnik, J. (2019). Technologies for deodorization of malodorous gases. *Environmental Science and Pollution Research*, 26, 9409-9434.

Wu, Y., Li, J., Zhang, X., Jiang, Z., Liu, S., Yang, J., & Huang, X. (2023). The distinct phases of fresh-seawater mixing intricately regulate the nitrogen transformation processes in a high run-off estuary: Insight from multi-isotopes and microbial function analysis. *Water Research*, 247, 120809.

Xie, J., Jin, L., Luo, X., Zhao, Z., & Li, X. (2018). Seasonal disparities in airborne bacteria and associated antibiotic resistance genes in PM<sub>2.5</sub> between urban and rural sites. *Environmental Science & Technology Letters*, 5(2), 74-79.

Xin, H., Gao, M., Wang, X., Qiu, T., Guo, Y., & Zhang, L. (2022). Animal farms are hot spots for airborne antimicrobial resistance. *Science of The Total Environment*, 851, 158050.

Xiong, S., Liu, Y., Zhang, H., Xu, S., Li, S., Fan, X., ... & Wei, Y. (2023). Effects of chemical additives and mature compost on reducing nitrogen loss during food waste composting. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(13), 39000-39011.

Xu, X., Zhou, W., Xie, C., Zhu, Y., Tang, W., Zhou, X., & Xiao, H. (2022). Airborne bacterial communities in the poultry farm and their relevance with environmental factors and antibiotic resistance genes. *Science of the Total Environment*, 846, 157420.

Yamamoto, N., & Nakai, Y. (2019). Microbial community dynamics during the composting process of animal manure as analyzed by molecular biological methods. *Understanding Terrestrial Microbial Communities*, 151-172.

Yamamoto, N., Otawa, K., & Nakai, Y. (2009). Bacterial communities developing during composting processes in animal manure treatment facilities. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 22(6), 900-905.

Yan, M., Wang, W., Jin, L., Deng, G., Han, X., Yu, X., ... & Zou, L. (2024). Emerging antibiotic and heavy metal resistance in spore-forming bacteria from pig manure, manure slurry and fertilized soil. *Journal of Environmental Management*, 371, 123270.

Yan, H., Li, Y., Zhang, Y., Zhang, H., Guo, Z., & Liu, J. (2021). Deciphering of microbial diversity and antibiotic resistome of bioaerosols in swine confinement buildings. *Science of The Total Environment*, 781, 147056.

Yan, Z., Liu, X., Yuan, Y., Liao, Y., & Li, X. (2013). Deodorization study of the swine manure with two yeast strains. *Biotechnology and Bioprocess Engineering*, 18(2), 135–143.

Ye, F., Zhu, R., & Ye, Y. (2008). Preparation of complex microbial adsorbent for deodorization and its application to deodorization. *Trans. Chin. Soc. Agric. Eng*, 24, 254-257.

Yao, Q., Zeng, Z., Hou, J., Deng, Y., He, L., Tian, W., ... & Liu, J. H. (2011). Dissemination of the *rmtB* gene carried on IncF and IncN plasmids among Enterobacteriaceae in a pig farm and its environment. *Journal of antimicrobial chemotherapy*, 66(11), 2475-2479.

You, S., Du, S., Ge, G., Wan, T., & Jia, Y. (2021). Microbial community and fermentation characteristics of native grass prepared without or with isolated lactic acid bacteria on the Mongolian Plateau. *Frontiers in Microbiology*, 12, 731770.

Zhang, T., Wu, X., Shaheen, S. M., Rinklebe, J., Bolan, N. S., Ali, E. F., ... & Tsang, D. C. (2021). Effects of microorganism-mediated inoculants on humification processes and phosphorus dynamics during the aerobic composting of swine manure. *Journal of Hazardous Materials*, 416, 125738.

Zhang, Q. Q., Ying, G. G., Pan, C. G., Liu, Y. S., & Zhao, J. L. (2015). Comprehensive evaluation of antibiotics emission and fate in the river basins of China: source analysis, multimedia modeling, and linkage to bacterial resistance. *Environmental science & technology*, 49(11), 6772-6782.

Zeng, S., Li, N. H., Sheng, H. C., He, K., & Hu, Z. Q. (2015). Screening, combination of microbial deodorizer and the optimization of its deodorizing conditions. *Huan Jing ke Xue= Huanjing Kexue*, 36(1), 259-265.

Zheng, G., Cheng, Y., Zhu, Y., Yang, J., Wang, L., & Chen, T. (2022). Correlation of microbial dynamics to odor production and emission in full-scale sewage sludge composting. *Bioresource Technology*, 360, 127597.

Zhou, S., Zhang, X., Liao, X., Wu, Y., Mi, J., & Wang, Y. (2019). Effect of different proportions of three microbial agents on ammonia mitigation during the composting of layer manure. *Molecules*, 24(13), 2513.

Zhou, H., Zhao, Y., Yang, H., Zhu, L., Cai, B., Luo, S., ... & Wei, Z. (2018). Transformation of organic nitrogen fractions with different molecular weights during different organic wastes composting. *Bioresource technology*, 262, 221-228.

Zhu, G., Wang, X., Yang, T., Su, J., Qin, Y., Wang, S., ... & Zhu, Y. G. (2021). Air pollution could drive global dissemination of antibiotic resistance genes. *The ISME journal*, 15(1), 270-281.

## ДОДАТКИ

**СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

**Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:**

**Статті у фахових наукових виданнях, включених до міжнародних наукометричних баз даних:**

1. **Grigorash, P. B., & Horiuk, Y. V.** (2024). Characterization of harmful gases and bioaerosols of pig farms: a review of the existing literature. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Veterinary Sciences*, 26(113), 24-29. <https://doi.org/10.32718/nvlvet11304> (Здобувач здійснив пошук джерел та провів написання статті).

2. **Григораш, П. Б., Горюк, Ю. В., Кухтин, М. Д., & Горюк, В. В.** (2025). Мікробіологічна оцінка біоаерозолу в боксах для відгодівлі свиней. *Podilian Bulletin Agriculture Engineering Economics*, (47), 42–51. <https://doi.org/10.37406/2706-9052-2025-2.6> (Здобувач визначив параметри мікроклімату на свинокомплексі та оформив статтю до друку).

3. **Grigorash, P. B., & Horiuk, Y. V.** (2025). The effect of the biodestructor Sanaero on the microflora of pig manure when filling an underfloor bath. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Veterinary Sciences*, 27(118), 189-196. <https://doi.org/10.32718/nvlvet11827> (Здобувач визначив мікробіологічні показники гною, описав їх та оформлював статтю до друку).

4. **Grigorash, P. B., & Horiuk, Y. V.** (2025). Sanitary condition of pig manure and microclimate in piggeries under treatment with the biodestructor Sanaero. *One Health Journal*, 3(V), 43–53. <https://doi.org/10.31073/onehealthjournal2025-v-05> (Здобувач визначив санітарні показники гною та мікроклімату на свинофермах, описав їх та оформив статтю до друку).

5. **Grigorash, P. B., & Horiuk, Y. V.** (2025). Microclimate parameter dynamics in pig housing using the biodestructor Sanaero. *Ukrainian Journal of Veterinary and Agricultural Sciences*, 8(2), 49-55. <https://doi.org/10.32718/ujvas8-2.09> (Здобувач

дослідив зміну мікроклімату на свинокомплексі за використання біодеструктора, описав отримані результати та оформив статтю до друку).

6. **Grigorash, P. B.**, Horiuk, Y. V., Salata, V. Z., Prosyanyi, S. B., Perkiy, Y. B., & Motkalyuk, N. F. (2026). Characteristics of nitrogen transformation processes in pig manure during fattening with the use of the biodestructor Sanaero. *Ukrainian Journal of Veterinary and Agricultural Sciences*, 9(1), 40–46. <https://doi.org/10.32718/ujvas9-1.07> (Здобувач дослідив процеси трансформації азоту у свинячому гної за використання біодеструктора, провів обробку та аналіз експериментальних даних)

#### **Технічні умови України:**

7. **Григораш П. Б.**, Горюк Ю. В., Кухтин М. Д. Технічні умови ТУ У 21.2–22769675–001:2025 Біологічний препарат ветеринарний «САНАЕРО» (суспензія для зовнішнього застосування). Кам'янець-Подільський: ЗВО «ПДУ», 2025. 18 с. (Здобувач розробляв біологічний препарат, організовував і проводив експериментальні дослідження та оформлював технічні умови).

#### **Методичні рекомендації:**

8. **Григораш П. Б.**, Горюк Ю. В., Кухтин М. Д. Методичні рекомендації щодо використання біологічного препарату «Санаеро» для деструкції свинячого гною. Кам'янець-Подільський: ЗВО «ПДУ», 2025. – 26 с. (Здобувач проводив дослідження та оформлював методичні рекомендації).

#### **Матеріали і тези наукових конференцій та інші наукові видання, які додатково відображають наукові результати дисертації:**

9. **Григораш П.**, Горюк Ю. Методи боротьби з неприємними запахами в свинарстві. Зміна клімату та її наслідки для тваринництва і ветеринарної медицини: Наукові підходи та інноваційні рішення : Зб. матеріалів Міжнар. науково-практ. конф., м. Кам'янець-Подільський, 10 жовт. 2024 р. Одеса, 2024. С. 162–163.

10. **Григораш П. Б.**, Горюк Ю. В. Мікрофлора у складі біоаерозолів свиноферм. Актуальні питання ветеринарної медицини: реалії та перспективи: збірник тез доповідей Міжнар. наук.-практ. конф. науковців, викладачів та

аспірантів, 22 травня 2024 р.; Держ. біотехнологічний ун-т. Харків, 2024. С. 27-28.

11. **Grigorash P.**, Horiuk Y. Modulation of pig manure microbiota and odor reduction using the biodestructor sanaero. Актуальні аспекти розвитку ветеринарної медицини в умовах євроінтеграції : матеріали III міжнар.наук.-практ. конф., м. Одеса, 16–17 жовт. 2025 р. Одеса, 2025. С. 62–65.

12. **Григораш П. Б.** Оцінка ефективності біодеструктора «Санаеро» щодо покращення мікробіологічних показників свинячого гною і мікроклімату приміщень. Вирішення сучасних проблем у ветеринарній медицині. Матеріали XI Всеукраїнської науково-практичної Інтернет-конференції, 17– 18 лютого 2026 року м. Полтава. Полтава, ПДАУ, 2026. С. 102–103.

## Технічні умови України

ДКПП 21.20.2

УКНД 11.220

**ЗАТВЕРДЖУЮ**



В.о ректора Закладу вищої освіти

«Підільський державний університет»

*Алла Івановська*  
Алла ІВАНОВСЬКА

«30» червня 2025 р.

**Біологічний препарат ветеринарний**

**«САНАЕРО»**

**(суспензія для зовнішнього застосування)**

**Технічні умови**

**ТУ У 21.2–22769675–001:2025**

(введено вперше)

Дата надання чинності 30.06.2025р.

Чинні до \_\_\_\_\_

**РОЗРОБЛЕНО:**

Аспірант

*Петро Григораши*  
Петро ГРИГОРАШ

«25» червня 2025 р.

Доктор ветеринарних наук, доцент

*Юлія Горюк*  
Юлія ГОРЮК

«25» червня 2025 р.

Доктор ветеринарних наук, професор

*Микола Кухтин*  
Микола КУХТИН

«25» червня 2025 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЗАКЛАД ВИЩОЇ ОСВІТИ «ПОДІЛЬСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»  
ФАКУЛЬТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ МЕДИЦИНИ І ТЕХНОЛОГІЙ У ТВАРИННИЦТВІ

Петро ГРИГОРАШ, Юлія ГОРЮК, Микола КУХТИН

Методичні рекомендації  
щодо використання біологічного препарату «Санаеро» для деструкції  
свінячого гною



м. Кам'янець-Подільський  
2025 рік

УДК 636.03. 614.9

**Автори:**

**Петро ГРИГОРАШ** – аспірант кафедри ветеринарного акушерства, внутрішньої патології та хірургії Закладу вищої освіти «Подільський державний університет»

**Юлія ГОРЮК** – доктор ветеринарних наук, доцент, професор кафедри ветеринарного акушерства, внутрішньої патології та хірургії Закладу вищої освіти «Подільський державний університет»

**Микола КУХТИН** – доктор ветеринарних наук, професор, завідувач кафедри харчової біотехнології і хімії Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя

*Рекомендовано до друку науково-методичною радою  
Закладу вищої освіти «Подільський державний університет»  
(протокол № від )*

**Рецензенти:**

**Юрій ПЕРКІЙ** – кандидат ветеринарних наук, старший науковий співробітник, науковий співробітник Тернопільської дослідної станції ІВМ НААН

**Світлана ЛАЙТЕР-МОСКАЛЮК** – кандидат ветеринарних наук, доцент, доцент кафедри гігієни тварин та ветеринарного забезпечення кілологічної служби Національної поліції України Подільського державного аграрно-технічного університету

Методичні рекомендації щодо використання біологічного препарату «Санаеро» для деструкції свінячого гною / П.Б. Григораши, Ю.В. Горюк, М.Д. Кухтин. Кам'янець-Подільський: ЗВО «ПДУ», 2025. – 26 с.

У методичних рекомендаціях наведені дані щодо технології виробництва новоствореного біологічного препарату «Санаеро» для деструкції свінячого гною у досвіді ванні та дано характеристику впливу його на хімічні та мікробіологічні показники мікроклімату у свинарниках. Призначені для використання на фермах з відгодівлі свиней та у лабораторіях зі створення аналогічних препаратів.

©П. ГРИГОРАШ, Ю. ГОРЮК, М. КУХТИН, 2025

## Методичні рекомендації

## Акти впровадження результатів наукових досліджень в освітній процес

ЗАТВЕРДЖУЮ  
В. о. ректора Закладу вищої освіти  
«Подільський державний університет»  
Алла ІВАНОВСЬКА  
«06» березня 2026 р.

### АКТ впровадження результатів наукових досліджень в освітній процес

за темою: «Теоретичне обґрунтування та розробка біологічного препарату на основі мікроорганізмів для біодеструкції свинячого гною», яка виконана в період з 2023 р. по 2025 р. Результати дослідження може бути інтегровано в освітній процес під час викладання дисциплін, пов'язаних із мікробіологією, гігієною тварин та технологіями екологічної безпеки у тваринництві. Наукові дані щодо мікробіологічних процесів у свинячому гної, дії біодеструкторів та механізмів зниження емісії аміаку й сірководню використовуються у лекційних курсах, практичних заняттях та студентській науковій роботі. Це забезпечує формування у здобувачів вищої освіти компетентностей, необхідних для впровадження біотехнологічних рішень і санітарно-гігієнічних заходів у сучасних тваринницьких технологіях.

Керівник теми: ГРИГОРАШ Петро Борисович

Комісія в складі:

голова комісії: СУПРОВИЧ Тетяна Михайлівна, зав. кафедри гігієни тварин та ветеринарного забезпечення кінологічної служби Національної поліції України, доктор сільськогосподарських наук, професор

члени комісії:

КОЖИН Владислав Анатолійович, в.о. зав. кафедри ветеринарного акушерства, внутрішньої патології та хірургії, доктор філософії  
ЛАЙТЕР-МОСКАЛЮК Світлана Василівна, доцент кафедри гігієни тварин та ветеринарного забезпечення кінологічної служби Національної поліції України, кандидат ветеринарних наук, доцент  
КАРЧЕВСЬКА Тетяна Миколаївна, доцент кафедри інфекційних та інвазійних хвороб, кандидат ветеринарних наук, доцент

встановила впровадження в освітній процес результатів наукових досліджень та місце їх використання при вивченні оновленого курсу лекцій та/або їх розділів з навчальних дисциплін Ветеринарна мікробіологія, Гігієна тварин та ветеринарна санітарія, Основи біобезпеки, біоетики та ветеринарної екології, Сучасні превентивні технології забезпечення здоров'я тварин у промислових умовах, Епізоотологія та інфекційні хвороби.

«06» березня 2026 р.

Голова комісії: Тетяна СУПРОВИЧ

Члени комісії: Владислав КОЖИН  
Світлана ЛАЙТЕР-МОСКАЛЮК  
Тетяна КАРЧЕВСЬКА

Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»  
Відділ загального адміністративного забезпечення  
Підпис: Тетяни Супровицької  
Світлани Лайтер-Москалюк  
Тетяни Карчевської  
Керівник відділу  
від «06» березня 2026 р.

## Акти впровадження результатів наукових досліджень у виробництво

ЗАТВЕРДЖУЮ,  
 Директор  
 ТОВ «АКСЕРА»  
 «АКСЕРА» \_\_\_\_\_ Флерчук О.В.  
 К-Ф Д 421872347 \_\_\_\_\_ Вересня 2025 р.

### акт впровадження результатів наукових досліджень у виробництво

За тематикою: «Розробка нових антимікробних препаратів і засобів для профілактики і лікування хвороб тварин та дезінфекції у ветеринарній медицині», номер державної реєстрації 0122U200511, які виконувалися в період з січня 2023 р. по квітень 2025 р.

Розроблено склад біологічного препарату «Санаеро» для біодеструкції свинячого гною у піддлоговій ванні. Біодеструктор «Санаеро» застосовують на свинофермах шляхом додавання у гноєві ванни наступним чином. Відбираємо 100-200 мл біопрепарату (концентрату) додаємо 10 л водопровідної води температурою + 30 – + 37 °С та 200 мл меляси або цукрового сиропу, витримуємо 4 – 6 год за кімнатної температури. Після цього 1 л приготовленого робочого розчину вносимо у піддлогову ванну приблизно на 1 м<sup>3</sup> рідкого свинячого гною. Через сім діб повторно вносимо препарат із таким самим розрахунком, і так протягом усього періоду наповнення гноєвої ванни.

Керівник теми: ГОРІЮК Юлія Вікторівна

Комісія в складі:

голова комісії: Флерчук Олександр Володимирович

члени комісії:

Григораш Петро Борисович  
 Долинна Валентина Дмитрівна  
 ГОРІЮК Юлія Вікторівна

встановила впровадження у виробництво результатів наукових досліджень та місце їх використання: мікроорганізми біодеструктора «Санаеро» ефективно знижують продукування шкідливих неприємних газів у піддлоговій гноєвій ванні, що забезпечує оптимальні параметри мікроклімату у свинарниках.

“ 17 ” Вересня 2025 р.

Голова комісії: \_\_\_\_\_ Флерчук О.В.

Члени комісії: \_\_\_\_\_ Григораш П.Б.

\_\_\_\_\_ Долинна В.Д.

\_\_\_\_\_ Горіюк Ю.В.

Підписи засвід: \_\_\_\_\_ Матвійчук М.Г.



Форма 2

ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор

департаменту свинарства та  
фахівництва

«Аграрна компанія 2004»

Дубовиков Д.А.



"05" Вересня 2025 р.

АКТ

## впровадження результатів наукових досліджень у виробництво

За тематикою: «Розробка нових антимікробних препаратів і засобів для профілактики і лікування хвороб тварин та дезінфекції у ветеринарній медицині», номер державної реєстрації 0122U200511, які виконувалися в період з січня 2023 р. по квітень 2025 р.

Розроблено склад біологічного препарату «Санаеро» для біодеструкції свинячого гною у під підлоговій ванні. Біодеструктор «Санаеро» застосовують на свинофермах шляхом додавання у гноєві ванни наступним чином. Відбираємо 100-200 мл біопрепарату (концентрату) додаємо 10 л водопровідної води температурою + 30 – + 37 °С та 200 мл меляси або цукрового сиропу, витримуємо 4 – 6 год за кімнатної температури. Після цього 1 л приготовленого робочого розчину вносимо у під підлогову ванну приблизно на 1 м<sup>3</sup> рідкого свинячого гною. Через сім діб повторно вносимо препарат із таким самим розрахунком, і так протягом усього періоду наповнення гноєвої ванни.

Керівник теми: Горюк Юлія Вікторівна

Комісія в складі:

голова комісії: Дубовиков Дмитро Анатолійович

члени комісії:

Григораш Петро Борисович

Варварчин Іван Степанович

Горюк Юлія Вікторівна

встановила впровадження у виробництво результатів наукових досліджень та місце їх використання: мікроорганізми біодеструктора «Санаеро» ефективно знижують продукування шкідливих неприємних газів у під підлоговій гноєвій ванні, що забезпечує оптимальні параметри мікроклімату у свинарниках.

"05" Вересня 2025 р.

Голова комісії: \_\_\_\_\_ Дубовиков Д.А.

Члени комісії: \_\_\_\_\_ Григораш П.Б.

Варварчин І.С.

Горюк Ю.В.

Підписи зас...



Слобожанка Н.С.)