



Агроекологія, радіологія, меліорація

УДК 631:636.5:663.14.039

© 2021

ВПЛИВ РІЗНИХ ДОЗ БІОПРЕПАРАТУ МЕГАНІТ НІРБАТОР НА ЕМІСІЮ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ З КУРЯЧОГО ПОСЛІДУ

М.І. Воробель¹, В.В. Каплінський², В.О. Пінчук³, А.І. Дмитроца⁴

^{1,3}кандидати сільськогосподарських наук

²кандидат ветеринарних наук

^{1, 2, 4}Інститут сільського господарства Карпатського регіону НААН

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

³Інститут агроекології і природокористування НААН

вул. Метрологічна, 12, м. Київ, 03143, Україна

e-mail: ¹vorobelmariia@gmail.com, ²vasyl.kaplinksiy@gmail.com,

³pinchuk_vo@ukr.net, ⁴andrianadmitroca@gmail.com

ORCID: ¹0000-0003-4387-4173, ²0000-0002-0138-9957,

³0000-0003-0646-1580, ⁴0000-0003-3304-3691

Надійшла 24.11.2020

Мета. Установити ефективність впливу різних доз біопрепарату Меганіт Нірбатор на емісію парникових газів (CH_4 , CO_2) з курячого посліду за мезофільного режиму анаеробного зброджування (*in vitro*). **Методи.** Дослідження проведено з використанням лабораторних, аналітичних і математико-статистичних методів. Лабораторні методи — для встановлення рівня виділення парникових газів з курячого посліду при використанні різних доз біопрепарату Меганіт Нірбатор; аналітичні — для аналізу та обґрунтування одержаних результатів; математико-статистичні — для оцінки достовірності результатів досліджень. **Результати.** На основі одержаних результатів у процесі проведення дослідження встановлено, що використання біопрепарату Меганіт Нірбатор у курячому посліді незалежно від дози активує процес метаногенезу впродовж досліджуваного періоду, що підтверджується зростанням рівня рН до 9,2 од. Водночас із вищим показником рН у досліджуваному субстраті внесення біопрепарату Меганіт Нірбатор у курячий послід при анаеробному бродінні (*in vitro*) за мезофільного режиму зумовлює більший вихід метану та вуглекислого газу: у I варіанті — на 11,8%, II — на 22,9, у III — на 27,9%, порівняно з контролем. **Висновки.** Експериментально доведено та науково обґрунтовано ефективний вплив біопрепарату Меганіт Нірбатор на емісію парникових газів — метану та вуглекислого газу з курячого посліду за мезофільного режиму анаеробного бродіння (*in vitro*). За результатами досліджень встановлено, що найефективніший вплив на емісію CH_4 і CO_2 виявляє біопрепарат Меганіт Нірбатор у дозі 50 мл (16,7%), який підвищує

їхні кількісні показники на 22,9%, тоді як збільшення дози цього препарату істотно не впливає на вихід досліджуваних газів. Отже, біопрепарат Меганіт Нірбатор можна використовувати як стимулятор інтенсифікації виходу біогазу з курячого посліду при переробці у біогазових установках, тим самим мінімізуючи негативний вплив сільського господарства, зокрема галузі птахівництва, на стан навколишнього природного середовища.

Ключові слова: птахівництво, метан, вуглекислий газ, анаеробне бродіння, біогаз.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202102-07>

Галузь птахівництва є однією із найбільш розвинутих і прогресивних галузей сільського господарства. Про це свідчить щорічне зростання чисельності поголів'я птиці усіх видів упродовж останнього десятиліття у світі і в Україні зокрема [1–3]. В основному найбільше зростає чисельність курей. Високі щорічні темпи приросту виробництва м'яса птиці у світі становлять у середньому 4–6%, яєць — 1,5–2% [4]. Вітчизняні птахофабрики також постійно збільшують виробництво яєць та м'яса птиці, підтвердженням чого є те, що Україна у 2013 р. увійшла в першу світову десятку країн-виробників продуктів птахівництва [5]. Зокрема, щодо м'яса птиці Україна на 9-му місці, харчових курячих яєць — на 8-му [6]. Ключовими причинами збільшення обсягів продукції птахівництва, по-перше, є те, що вона має найбільш повноцінний білок як складову частину раціону для населення і є дієтичною і, по-друге, те, що галузь птахівництва характеризується найшвидшою віддачею за порівняно незначних затрат праці та кормів на одиницю продукції порівняно з іншими галузями тваринництва [1, 2, 5, 7, 8]. Науково доведено, що для отримання 1 кДж енергії в яйцях і м'ясі птиці потрібно витратити вдвічі менше кормових одиниць, ніж під час виробництва молока, і втричі менше, ніж під час виробництва свинини та яловичини [2].

Постійний розвиток аграрного сектору економіки, і галузі птахівництва зокрема, призводить до збільшення кількості птахофабрик, які, в свою чергу, крім основної продукції (м'яса та яєць), продукують ще й побічну — послід, причому у кількості значно більшій, ніж основної продукції [1, 3, 9]. При нагромадженні значних обсягів курячого посліду відбуваються інтенсивні

процеси бродіння, які зумовлюють надходження в довкілля шкочинних газів (метану, аміаку, сірководню та ін.), що є серйозною загрозою для навколишнього природного середовища, його екосистем унаслідок забруднення повітря, води, ґрунту та призводить до глобального потепління [1, 5, 7]. Така негативна тенденція є основною причиною погіршення умов для зростання та розвитку флори і фауни, навколишнього тваринного світу, для екологічного благополуччя загалом [10]. Так, середнє антропогенне навантаження на території України від відходів птахівництва становить 0,22 млн т/км² і на кожну 1000 населення — 3000 т [11].

Проблема надійного захисту навколишнього природного середовища від забруднення послідом та іншими відходами птахофабрик є надзвичайно актуальним завданням сьогодення в сучасних умовах для всіх регіонів України у зв'язку із активним розвитком агропромислового комплексу, що прямо пов'язаний з ростом відходів галузі [1, 5]. З огляду на це у технології виробництва продукції птахівництва важливим є розвиток нових способів подолання проблеми утилізації курячого посліду, який має високий енергетичний потенціал, зокрема, завдяки ферментативному зброджуванню на альтернативні енергоносії (біогаз) [3, 12–14]. Розвиток альтернативної біоенергетики запобігає забрудненню атмосфери, мінімізує негативний вплив сільського господарства на довкілля і забезпечує безвідходність виробництва, тобто одержання високоякісних органічних добрив, виробництво енергії й знешкодження шкочинних газів [12, 14–16]. Отже, опираючись на літературні джерела та наведене вище, слід зазначити, що такий сектор економіки,

як сільське господарство, і птахівництво зокрема, є одночасно продуцентом забруднення навколишнього середовища та потенційним донором альтернативної енергії з біомаси. Тобто дає змогу перетворити послід із шкідливого для довкілля в прибутковий та корисний продукт, що дасть можливість забезпечити високу конкурентоспроможність галузі [15, 17].

Через накопичення значної кількості відходів в агропромисловому комплексі виникає потреба впровадження біогазових установок, а тому набуває актуальності пошук способів інтенсифікації процесу метанового бродіння [15, 18]. Питанню дослідження процесів ферментації відходів сільського господарства присвячено наукові дослідження низки вчених, в яких висвітлено особливості технологій отримання біогазу, що ґрунтуються на використанні різних температурних режимів, вологості, концентрації мікробної маси, тривалості перебігу реакції і т. д. [15, 18–20]. Одним із найперспективніших напрямів інтенсифікації процесу метанового зброджування є додавання біостимуляторів, використання яких навіть у незначних кількостях збільшує швидкість росту бактерій та інтенсивність анаеробного бродіння, що, в свою чергу, підвищує ефективність роботи біогазових установок [18, 20]. У наявних літературних джерелах наводиться інформація щодо впливу синтропної асоціації мікроорганізмів — *Sarcina maxima*, *Sarcina ventriculi*, *Methanosarcina maej* і *Methanobacterium thermoautotrophicum* на збільшення виходу метану при переробці відходів сільського господарства, однак він є незначним, що, ймовірно, зумовлено неоптимальним підбором культур бактерій у запропонованій асоціації [21]. Також відомо, що як косубстрати під час біоконверсії відходів можна використовувати добавки, що містять мікроелементи, проте збільшення біогазу було тимчасове і незначне [22, 23]. У джерелах довідкової та науково-патентної літератури зазначається, що для інтенсифікації процесу метаногенезу застосовували препарат, представлений комплексом мікроелементів і ферментів, однак його широкий компонентний склад потребує значних затрат коштів і часу при його використанні [24]. Отже,

враховуючи наведене та важливість розв'язання проблеми утилізації курячого посліду, актуальним завданням є пошук ефективних засобів стимулювання виходу біогазу під час переробки відходів птахофабрик способом анаеробного бродіння. Це дасть змогу збільшити обсяги виробництва додаткового енергетичного ресурсу — біогазу, тим самим забезпечивши збереження чистоти навколишнього середовища для майбутніх поколінь. Тому дослідження процесів анаеробного бродіння курячого посліду (*in vitro*) за мезофільного режиму, а також установлення впливу різних доз біопрепарату Меганіт Нірбатор на обсяг виділення парникових газів (CH_4 , CO_2) з урахуванням рівня рН має велике наукове і практичне значення.

Мета досліджень — установити ефективність впливу різних доз біопрепарату Меганіт Нірбатор на емісію парникових газів (CH_4 , CO_2) з курячого посліду за мезофільного режиму анаеробного зброджування (*in vitro*).

Матеріали та методи досліджень. Дослідження проведено в лабораторії екології Інституту сільського господарства Карпатського регіону НААН з використанням лабораторних, аналітичних і математико-статистичних методів. Для встановлення ефективності впливу різних доз біопрепарату Меганіт Нірбатор на емісію парникових газів (CH_4 , CO_2) здійснено відбір зразків курячого посліду у ФГ «Захід-Птиця» Пустомитівського р-ну Львівської обл. Дослідження проведено в 3-разовій повторності у таких варіантах: контроль — без унесення препаратів; I варіант — із використанням біопрепарату Меганіт Нірбатор у дозі 25 мл (8,3%); II варіант — з унесенням біопрепарату Меганіт Нірбатор у дозі 50 мл (16,7%); III варіант — із додаванням біопрепарату Меганіт Нірбатор у дозі 75 мл (25%).

Біопрепарат Меганіт Нірбатор (ПП «Ексім-інвест») представлений композицією 4-х бактеріальних штамів: *Azotobacter chroococcum* (азотофіксувальні аеробні бактерії, оптимум рН — 7,0–7,5); *Azospirillum lipoferum* (ризосферна азотофіксувальна бактерія з оптимумом рН 7,0–7,5 і температурою 20–30°C) $10 \cdot 10^9$ КУО/см³; *Bacillus*

subtilis (спороутворювальна бактерія з аміполітичною властивістю — здатна гідролізувати полісахариди до простих вуглеводів, ефективна проти фузаріозу, аспергільозу, ризоктонії, фітопатогенного псевдомонасу); *Bacillus megatherium* (паличкоподібна бактерія з оптимумом рН 6,5–7,5 і температурою 28–35°C, має аміполітичну активність, іммобілізує фосфор із складних сполук у формі P_2O_5 , має антифунгальні властивості) $10 \cdot 10^7$ КУО/см³.

Процес метанового бродіння проводили *in vitro* за оптимальних показників бродіння відповідно до методики В.В. Шацького, О.Г. Скляра, Р.В. Скляра, О.О. Солодкої [20]. Біомасу (курячий послід), розбавлену водою у співвідношенні 1:1, вносили у дослідну ємність, використовуючи колби, закриті пробками, для збереження герметичності та забезпечення анаеробних умов. Упродовж експерименту досліджуваній субстрат перемішували інтенсивним струшуванням ємностей. Ідентичні умови впродовж процесу метаногенезу були як у контрольному варіанті, де анаеробне зброджування субстрату відбувалося завдяки природній мікрофлорі курячого посліду, так і в дослідних аналогах із застосуванням різних доз біопрепарату Меганіт Нірбатор.

Кислотність визначали за допомогою приладу рН-метр Тур N5170 (виробництво Польща). У досліджуваному субстраті вміст CH_4 і CO_2 визначали за допомогою сигналізатора-аналізатора газів — переносний Дозор С-М-5 (сертифікат перевірки приладу типу UA.TR.001 212-18 і сертифікат відповідності № UA.TR.002.CB.1234-19).

Статистичний аналіз отриманих результатів досліджень проводили, використовуючи методи варіаційної статистики, за допомогою стандартного пакета статистичних програм Microsoft EXCEL та AtteStat. Вираховували середні арифметичні величини (M) і похибки середніх арифметичних (m). Різницю між середніми арифметичними значеннями вважали статистично вірогідною при: * $P < 0,05$; ** $P < 0,01$; *** $P < 0,001$.

Результати досліджень та їх обговорення. Інтенсивність процесу анаеробного зброджування залежить від забезпечення оптимальних умов, зокрема від температури, рівня рН та ін. Тому впродовж

експерименту на кожному етапі метаногенезу (гідролізу, окиснення, ацетогенезу, метаногенезу) у досліджуваному матеріалі підтримували оптимальний температурний режим і контролювали рівень рН середовища. Відомо, що процес метаногенезу може відбуватися в широкому діапазоні температур і починається за температури 6°C, тоді як за нижчої температури виділення метану припиняється [19, 25]. Дослідження проведено за мезофільного режиму бродіння при підтриманні температури в межах 33°C, оскільки це значення температури відповідає найвищим метаболічним активностям мезофільного режиму, який є найпоширенішим, незважаючи на те, що процес розкладання в термофільних умовах відбувається інтенсивніше, а кількість отриманого біогазу на 25–30% вище, ніж у мезофільних. Однак термофільні процеси мають меншу стабільність, а допустимі коливання температури значно знижуються [26]. Стабільність процесу метаногенезу значною мірою залежить від рН середовища, оскільки відомо, що у разі зниження рН до 6,5 вихід біогазу погіршується на 30–40%, а при рН 6,0 майже повністю припиняється розвиток метанової мікрофлори [20–27].

На початку утворення метану (17-та доба) за рівня рН 8,35 од. у досліджуваній субстрат (курячий послід) вносили біопрепарат Меганіт Нірбатор у кількості 25 мл (8,3%), 50 (16,7%) і 75 мл (25%). Упродовж проведення експерименту в умовах *in vitro*, на 17-ту добу і через кожні 3 доби визначали емісію парникових газів (CH_4 і CO_2) з курячого посліду на контролі та у дослідних аналогах із застосуванням цього біопрепарату в різних дозах.

На основі одержаних результатів досліджень установлено, що в подальшому після внесення у курячий послід досліджуваного препарату рівень рН зростав до 9,05–9,2 од. залежно від дози, на відміну від контрольного аналога, що свідчить про значну активність препарату (рис. 1).

Аналізуючи результати експериментальних досліджень, установлено, що у дослідних варіантах із застосуванням біопрепарату Меганіт Нірбатор водночас зі збільшенням рН середовища у курячому посліді при анаеробному бродінні (*in vitro*)

за мезофільного режиму спостерігається зростання виходу парникових газів — метану і вуглекислого газу.

Згідно з результатами проведених досліджень установлено, що застосування біопрепарату Меганіт Нірбатор у різних дозах — 25 мл (8,3%), 50 (16,7%) і 75 мл (25%), активуючи процес метаногенезу, зумовлює вищий вихід метану та вуглекислого газу, порівняно з контролем, відповідно на 11,8%, 22,9 і 27,9% (рис. 2, 3).

Отже, експериментально доведено, що внесення біопрепарату Меганіт Нірбатор у курячий послід за мезофільного режиму бродіння в анаеробних умовах незалежно від дози (25 мл (8,3%), 50 (16,7%) і 75 мл (25%)) підвищує вихід CH_4 і CO_2 впродовж

досліджуваного періоду та після 26-ї доби рівень емісії цих газів став стабільним. Зокрема, за збільшеної дози досліджуваного препарату удвічі (50 мл — 16,7%) зростали кількісні показники метану та вуглекислого газу на 11,1%, тоді як за 3-разового збільшення дози препарату (75 мл — 25%) рівень досліджуваних газів підвищувався лише на 5% при анаеробному бродінні у курячому посліді, тобто не мав істотного впливу й економічно недоцільний.

Зростання вмісту CH_4 і CO_2 за додавання біопрепарату Меганіт Нірбатор свідчить про ефективність його використання для активації анаеробної ферментативної активності. Отже, біопрепарат Меганіт Нірбатор можна використовувати як стимулятор

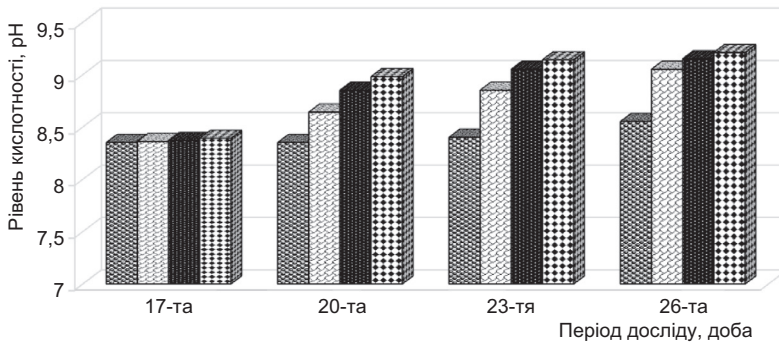


Рис. 1. Зміна рівня кислотності у варіантах із застосуванням біопрепарату Меганіт Нірбатор у різних дозах (I варіант — 25 мл (8,3%), II — 50 мл (16,7%), III — 75 мл (25%)) у процесі метаногенезу: ■ — контроль; ▨ — I варіант; ■ — II варіант; ▩ — III варіант

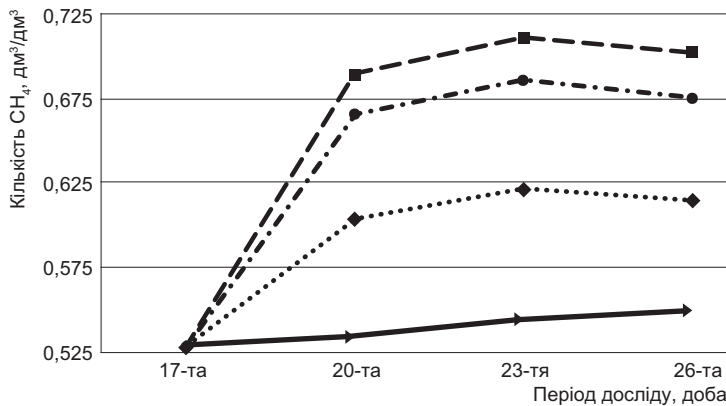


Рис. 2. Кількість виділеного метану у варіантах із застосуванням біопрепарату Меганіт Нірбатор у різних дозах (I варіант — 25 мл (8,3%), II — 50 мл (16,7%), III — 75 мл (25%)) у процесі метаногенезу: —> — контроль; ••• — I варіант; —●— — II варіант; —■— — III варіант

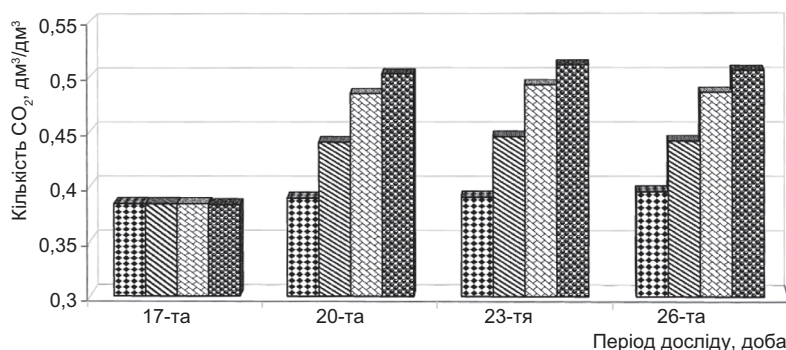


Рис. 3. Кількість виділеного вуглекислого газу у варіантах із застосуванням біопрепарату Меганіт Нірбатор у різних дозах (I варіант — 25 мл (8,3%), II — 50 мл (16,7%), III — 75 мл (25%)) у процесі метаногенезу: ■ — контроль; ▨ — I варіант; ▩ — II варіант; ▤ — III варіант

інтенсифікації виходу біогазу під час переробки побічної продукції тваринного походження для ефективного функціонування

біогазових установок, тим самим запобігаючи забрудненню навколишнього природного середовища.

Висновки

Встановлено ефективний вплив на процес метаногенезу та емісію парникових газів (CH_4 і CO_2) з курячого посліду біопрепарату Меганіт Нірбатор за мезофільного режиму бродіння в анаеробних умовах. Використання у досліджуваному субстраті цього препарату у дозі 25 мл (8,3%) зумовлює зростання рівня CH_4 та CO_2 на 11,8%, а при внесенні 50 мл (16,7%) і 75 мл (25%) вихід досліджуваних газів був вищим, відповідно, на 22,9 і 27,9%, порівняно з контролем. Отже, біопрепарат Меганіт Нірбатор доцільно використовувати для активації процесу метаногенезу

у курячому посліді в біоферментативних установках з метою збільшення виходу біогазу.

У перспективі планується провести експериментальні дослідження процесу анаеробного зброджування курячого посліду (*in vivo*) при застосуванні біопрепарату Меганіт Нірбатор та здійснити пошук ефективних засобів і способів для зменшення забруднення навколишнього середовища відходами птахівництва, що дасть змогу мінімізувати негативний вплив діяльності підприємств агропромислового комплексу.

M. Vorobel¹, V. Kaplinskyi², V. Pinchuk³, A. Dmytrotsa⁴

^{1, 2, 4}Institute of Agriculture of Carpathian region of NAAS, 5, Hrushevskoho Str., vil. Obroshyne, Pustomyiv region, Lviv oblast, 81115, Ukraine, ³Institute of Agroecology and Natural Management of NAAN, 12, Metrolohična Str., Kyiv, 03143, Ukraine; e-mail: ¹vorobelmaria@gmail.com, ²vasyl.kaplinskyi@gmail.com, ³pinchuk_vo@ukr.net, ⁴andrianadmitroca@gmail.com; ORCID: ¹0000-0003-4387-4173, ²0000-0002-0138-9957, ³0000-0003-0646-1580, ⁴0000-0003-3304-3691

Effect of different doses of biological preparation Meganit Nirbator on greenhouse gas emissions from chicken manure

Goal. To determine the effectiveness of different doses of the biological preparation Meganit Nirbator on the emission of greenhouse gases (CH_4 , CO_2) from chicken manure under the mesophilic regime of anaerobic fermentation (*in vitro*). **Methods.** The study was conducted using laboratory, analytical and mathematical methods. Laboratory methods — to establish the level of greenhouse gas emissions from chicken manure when using different doses of the biological preparation Meganit Nirbator; analytical — to analyze and justify the results; mathematical and statistical — to assess the reliability of research results. **Results.** Based on the results obtained during the study, it was found that the use of the biological product Meganit Nirbator

in chicken manure, regardless of the dose activated the process of methanogenesis during the study period, which was confirmed by increasing pH to 9.2 units. Simultaneously with the higher pH value in the studied substrate, the introduction of the biological product Meganit Nirbator into chicken manure during anaerobic fermentation (in vitro) under the mesophilic regime caused a higher yield of methane and carbon dioxide: in the variant I — by 11.8%, in the variant II — by 22.9%, in the variant III — by 27.9%, compared with the control. **Conclusions.** The effective influence of the biological preparation Meganit Nirbator on the emission of greenhouse gases — methane and carbon dioxide from chicken manure under the mesophilic regime of anaerobic fermentation (in vitro) has been experimentally

proved and scientifically substantiated. According to the results of research, the most effective influence on the emission of CH₄ and CO₂ has a biological product Meganit Nirbator in a dose of 50 ml (16.7%), which increases their quantitative indicators by 22.9%, while increasing the dose of this drug does not significantly affect the yield of the tested gases. Therefore, the biological product Meganit Nirbator can be used as a stimulant to intensify the yield of biogas from chicken manure during processing in biogas plants, thereby minimizing the negative impact of agriculture, in particular poultry, on the environment.

Key words: poultry farming, methane, carbon dioxide, anaerobic fermentation, biogas.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202102-07>

Бібліографія

1. Дутка Д.І. До питання поводження з органічними відходами птахофабрики. *Екологія та сталий розвиток: матеріали III Науково-практичної конференції* (м. Маріуполь, 22–23 лютого 2018 р.). Маріуполь: ДонДУУ, 2018. С. 78–81.
2. Івко І.І., Мельник В.О., Пудов В.Я. та ін. Удосконалення технологій виробництва продукції птахівництва: ретроспектива і перспективи. *Птахівництво*. 2009. Вип. 64. С. 11–23.
3. Рибаківа О.А. Облікові аспекти оприбуткування і використання пташиного посліду. *Агросвіт*. 2015. № 19. С. 72–77.
4. Циганок В.М., Гуля Ю.В. Аналіз виробництва продукції птахівництва в умовах ринкових перетворень. *Вісник ЖНАУ*. 2011. № 1. Т. 2. С. 276–287.
5. Бойко Л.О., Бойко В.О., Аверчева Н.О. Розробка прогнозу та перспективи розвитку галузі птахівництва до 2020 року. *Технологічний аудит і резерви виробництва*. 2016. № 4/6 (30). С. 34–40.
6. Буряк Р.І. Дослідження та прогнозування кон'юнктури ринку продукції птахівництва України. *Наук. вісник НУБіП України (серія «Економіка, аграрний менеджмент, бізнес»)*. 2017. Вип. 260. С. 41–53.
7. Дуранова Т.А. Сучасний стан та перспективи розвитку птахівництва. *Вісник соціально-економічних досліджень*. 2010. Вип. 38. С. 259–264.
8. Полегенька М.А. Аналіз сучасного стану виробництва продукції птахівництва в Україні. *Економіка та держава*. 2019. № 3. С. 137–143. doi: 10.32702/2306-6806.2019.3.137
9. Іщенко К.В. Дослідження параметрів мікроклімату пташників та хімічного складу посліду курей за використання кліткових батарей з різними системами повітровидалення. *Науково-технічний бюлетень ІТ*. 2019. № 121. С. 127–136.
10. Лысенко В.П., Тюрин В.Г., Мысова Г.А. и др. Ветеринарно-санитарные и экологические условия при переработке птичьего помета. *Птица и птицепродукты*. 2011. № 3. С. 13–16.
11. Яценко С.В. Екологічна оцінка очистки та знезараження стічних вод птахокомплексу. *НТБ ІБТ та ДНДКІ ветпрепаратів та кормових добавок*. 2010. Вип. 11, № 2/3. С. 328–331.
12. Dere A.J., Kalbande S.R., Khambalkar V.P. Recent review on biogas production from different waste. *International J. of Current Microbiology and Applied Sciences*. 2017. V. 6. № 10. P. 3452–3457. doi: 10.20546/ijcmas.2017.610.407
13. Ziemiński K., Frac M. Methane fermentation process as anaerobic digestion of biomass: Transformations, stages and microorganisms. *African J. of Biotechnology*. 2012. V. 11. № 2. P. 4127–4139. doi: 10.5897/AJBX11.054
14. Wang F., Pei M., Qiu L. et al. Performance of anaerobic digestion of chicken manure under gradually elevated organic loading rates. *Int J. Environ. Res. Public Health*. 2019. V. 16 (12). P. 2239–2246. doi: 10.3390/ijerph16122239
15. Болтянський Б.В., Дереза О.О., Дереза С.В. Способи утилізації відходів тваринництва і птахівництва. *Сучасні наукові дослідження на шляху до євроінтеграції: матеріали Міжнародного науково-практичного форуму*. (м. Мелітополь, 21–22 червня 2019 р.). Мелітополь: ТДАТУ ім. Д. Моторного, 2019. Ч. 1. С. 214–217.
16. Adekunle K.F., Okolie J.A. A review of biochemical process of anaerobic digestion. *Advances in Bioscience and Biotechnology*. 2015. № 6. P. 205–212. doi: 10.4236/abb.2015.63020
17. Маховський Д.В. Проблеми інноваційного розвитку птахівництва. *Актуальні проблеми: теоретичні та практичні аспекти: матеріали Міжнар. наук.-практ. інтернет-конфер. мол. наук., аспір. та студ.* (м. Кам'янець-Подільський,

10 лист. 2015 р.). Кам'янець-Подільський: ПДАТУ, 2015. С. 167–168.

18. Скляр О.Г., Скляр Р.В. Методи інтенсифікації процесів метанового зброджування. *Наук. вісник ТДАТУ*. 2014. Вип. 4. Т. 1. С. 3–9.

19. Солук Г.С., Буцяк В.І., Буцяк А.А. Біотехнологія виробництва біогазу з відходів сільськогосподарського виробництва. *Наук. вісн. ЛНУВМ та БТ ім. С.З. Жицького*. 2015. Т. 17. № 3 (63). С. 312–319.

20. Шацький В.В., Скляр О.Г., Скляр Р.В., Солодка О.О. Вплив структури субстрату на вихід біогазу при метановому зброджуванні. *Праці ТДАТУ*. 2013. Вип. 13. Т. 3. С. 3–12.

21. Пат. № 1049537А Россия, 636.220. 18:547.211.862(088.8). Синтрофная ассоциация микроорганизмов *Sarcina maxima*, *Sarcina ventriculi*, *Methanosarcina maejei* и *Methanobacterium thermoautotrophicum* № 1001 для переработки органических отходов сельского хозяйства в метан. В.П. Третьякова, Т.Я. Жилина, А.Н. Кожевникова, Р.А. Мельник, И.И. Евдокименко; заявитель и патентообладатель ВНИИКПМЖК. № 3460549/30-15; заявл. 29.06.82; опубл. 23.10.83. Бюл. № 39.

22. Эдер Б., Шульц Х. Биогазовые установки. Практическое пособие. (Пер. с нем. Zorg Biogas в 2011 г.); под ред. И.А. Реддих. 1996. 268 с.

23. Пат. EP 1577269A1 Deutschland, Int Cl. C02F 11/04, C02F 3/28. Zeolith in der Biogas-

gewinnung. J. Holper, M. Lesjak, U. Heinzel, B. Boos; anmelder: IPUS Industrie-, Produktions- und Umwelttechnisches Service GmbH, 8786 Rottenmann (AT). № 05450052.5; anmeldetag 17.03.2005; veröffentlichungstag 21.09.2005. Patentblatt 2005/38.

24. Pat. CN102876725A China, IPC C12P 5/02 (2006.01), C02F 11/04 (2006.01). Active compound additive for promoting fermentation of methane and use method thereof. L. Weiwei, M. Huan, Y. Zhi-liang, C. Chengmao, Y. Yingchun, Q. Lei, Z. Wenming. № 201210355799; stat. 18.09.2012; publ. 16.01. 2013.

25. Воробель М.І., Мороз В.В., Каплінський В.В. Ефективність дії природних мінералів на емісію парникових газів у гноєвому субстраті. *Вісник аграрної науки*. 2018. № 10. С. 35–40. doi: 10.31073/agrovisnyk201810-05

26. Поліщук В.М., Лободко М.М., Сидорчук О.В., Поліщук О.В. Вплив режимів метанового бродіння на ефективність виробництва біогазу. *Наук. вісн. НУБіП України*. 2013. № 185. Ч. 3. С. 180–191.

27. Li Y., Zhang R., Chen Ch. et al. Biogas production from co-digestion of corn stover and chicken manure under anaerobic wet, hemisolid, and solid state conditions. *Bioresource Technology*. 2013. V. 149. P. 406–412. doi: 10.1016/j.biortech. 2013.09.091