

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

**СПОСІБ ЗНИЖЕННЯ
ЕМІСІЇ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ З ГНОЮ СВИНЕЙ
ПРИ ЙОГО ЗБЕРІГАННІ У ЛАГУНАХ
(методичні рекомендації)**



Львів-Оброшине – 2023

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

**СПОСІБ ЗНИЖЕННЯ
ЕМІСІЇ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ З ГНОЮ СВИНЕЙ
ПРИ ЙОГО ЗБЕРІГАННІ У ЛАГУНАХ
(методичні рекомендації)**

Львів-Оброшине – 2023

Спосіб зниження емісії парникових газів з гною свиней при його зберіганні у лагунах (методичні рекомендації). Львів-Оброшине, 2023. 27 с.

У методичних рекомендаціях розглянуто та узагальнено шляхи зниження емісії парникових газів у навколишнє природне середовище з гною свиней при зберіганні його у лагунах за рахунок використання різних неорганічних та органічних речовин.

Встановлення шляхів та способів дезактивації викидів парникових газів з відходів галузей тваринництва є важливими завданнями, враховуючи утворення значної кількості побічної продукції при забезпеченні продовольчої незалежності й безпеки держави, так і експортного попиту, що сприяє інтенсивному забрудненню довкілля та знижує ефективність ведення сільського господарства в цілому.

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

Методичні рекомендації розроблено в Інституті сільського господарства Карпатського регіону НААН (ІСГКР НААН).

Автори розробки:

канд. с.-г. наук, провідний науковий співробітник відділу розведення, технологій утримання та годівлі тварин ІСГКР НААН М.І. Воробель; канд. с.-г. наук, старший науковий співробітник відділу розведення, технологій утримання та годівлі тварин ІСГКР НААН О.Я. Клим; науковий співробітник відділу дрібного тваринництва ІСГКР НААН А.І. Дмитроца; науковий співробітник відділу розведення, технологій утримання та годівлі тварин ІСГКР НААН Г.Я. Телушко; технік відділу розведення, технологій утримання та годівлі тварин ІСГКР НААН М.В. Балда.

Рецензенти:

д-р. біол. наук, професор, завідувач лабораторії дрібного тваринництва ІСГКР НААН, С.О. Вовк;

канд. с.-г. наук, доцент кафедри екології ЛНУВМ та БТ імені С.З. Гжицького, В.Я. Момут.

Розглянуто і затверджено до друку рішенням Вченої ради Інституту
сільського господарства Карпатського регіону НААН,
протокол № 9 від 1.11.2023 р.

ЗМІСТ

СКОРОЧЕННЯ, ТЕРМІНИ ТА ВИЗНАЧЕННЯ.....	4
ВСТУП.....	5
1. ВІДХОДИ СВИНАРСТВА ЯК ДЖЕРЕЛО ЕМІСІЇ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ.....	8
2. НАУКОВО-ПРАКТИЧНІ АСПЕКТИ ЗАСТОСУВАННЯ ЗАСОБІВ ДЛЯ ЗМЕНШЕННЯ ЕМІСІЇ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ З ГНОЮ СВИНЕЙ.....	13
ВИСНОВКИ.....	22
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	23

СКОРОЧЕННЯ, ТЕРМІНИ ТА ВИЗНАЧЕННЯ

АПК – агропромисловий комплекс;

АТОВ – аграрне товариство з обмеженою відповідальністю;

г – грам;

ЄС – Європейський Союз;

кг – кілограм;

км – кілометр;

л – літр;

м³ – метр кубічний;

МГЕЗК – Міжурядова група експертів зі зміни клімату;

млн – мільйон;

млрд – мільярд;

НВП – науково-виробниче підприємство;

НПС – навколишнє природне середовище;

ПГ – парникові гази;

ПП – приватне підприємство;

ПрАТ – приватне акціонерне товариство;

РКЗК ООН – Рамкова Конвенція ООН про зміну клімату;

т – тонна;

тис – тисяча;

ТОВ – Товариство з обмеженою відповідальністю;

CH₄ – метан;

CO₂ – вуглекислий газ (діоксид карбону);

FAO – Food and Agriculture Organization;

H₂S – сірководень;

N₂O – закис азоту (геміоксид азоту);

NH₃ – аміак;

NO – оксид азоту;

% – відсотки;

°C – градусів за Цельсієм.

ВСТУП

Пріоритетне значення в сучасних світових підходах щодо зниження негативного впливу сільського господарства на довкілля займає вирішення проблеми підвищення екологічної безпеки виробництва продукції тваринництва [27, 30, 35].

Сільськогосподарське виробництво знаходиться в тісному зв'язку з умовами зовнішнього середовища, наявністю й можливістю експлуатації природних ресурсів – землі, води, лісів, рослинного і тваринного світу. У загальній структурі сільського господарства тваринництво представляє собою стратегічно важливу галузь у формуванні продовольчої безпеки та незалежності держави, оскільки на нього припадає виробництво понад 45 % валової продукції [13, 21, 24]. Тваринництво забезпечує не лише потреби населення у високоякісних продуктах харчування і переробну промисловість – сировиною, а й створює необхідні державні резерви тваринницької продукції для експорту [5, 15, 30].

У сільському господарстві, зокрема в тваринництві, чільне місце займає свиначство, яке забезпечує населення повноцінними продуктами харчування за відносно короткий період часу, які мають стабільний і широкий попит на споживчому ринку, а отже, впливають на економіку країни [10]. Так, частка свинини у структурі світового виробництва м'яса є найбільшою – від 38,7 до 39,7 %, на другому місці – м'ясо птиці, а саме – 29,3 %, на третьому – виробництво яловичини – приблизно 25 %, а частина баранини становить 4,8 % [13]. Однак, в Україні в загальному фонді споживання м'ясної продукції свинина посідає друге місце з часткою – 37 %, оскільки половина припадає на продукцію птиці, а яловичина займає 13 %. На сьогодні в нашій державі споживання свинини є нижчим від рекомендованих норм. Зокрема, держава забезпечує потреби внутрішнього ринку в споживанні м'яса – на рівні 52 кг на одну людину на рік, що менше від раціональної норми на 28 кг, тобто 35 % [6]. Отже, пріоритетними завданнями у свиначстві є не лише необхідність гарантувати зростаючий попит на свинину, але й мінімізувати

негативний вплив на довкілля побічної продукції тваринного походження, забезпечити добробут тварин і водночас, рентабельність галузі.

Антропогенний вплив сільськогосподарських підприємств на атмосферу відбувається внаслідок потрапляння до неї продуктів розщеплення органічних відходів – парникових газів, які обумовлюють погіршення екологічної ситуації, а отже, спричиняють зміну клімату, а відтак, і зниження ефективності ведення сільського господарства [16, 20, 24, 30].

Зміна клімату на планеті є однією з найактуальніших екологічних проблем сьогодення, яка спіткала людство за останнє століття, у контексті вироблення і запровадження стратегій скорочення викидів парникових газів й поступового переходу до низьковуглецевого розвитку всіх секторів економіки та складових життєдіяльності людини [12, 24, 30]. Парникові гази, потрапляючи в атмосферу, поглинають тепло і затримують теплове випромінювання з поверхні планети, тим самим сприяючи зростанню середньорічної температури поверхні Землі, що обумовлює підвищення рівня океанів, частоти й потужностей природних катастроф та катаклізмів (опустелювання, зсуви, урагани, посухи, повені), виникнення кислотних дощів, утворення атмосферного аерозолі і зменшення запасів питної води [1, 26, 35, 38]. Наслідки зміни клімату мають негативний вплив, який відчувають мільйони людей у більшості країн світу [20]. Таким чином, щоб запобігти виникненню парникового ефекту на глобальному рівні, нині докладаються великі зусилля спрямовані на зменшення викидів парникових газів у довкілля.

Боротьба зі зміною клімату є глобальним викликом, шляхи вирішення даного питання відображено у низці послідовно укладених міжнародних угод: Рамковій Конвенції ООН про Зміну Клімату (РКЗК ООН) (1992 р.), Кіотському протоколі (1997 р.) та Паризькій угоді (2016 р.) тощо. Враховуючи, що за допомогою інструментів, передбачених першими двома угодами суттєвого скорочення викидів парникових газів досягти не вдалося було укладено Паризьку угоду, яка спрямована на зниження рівня емісії парникових газів та обмеження зростання температури повітря до 1,5 °C від доіндустріального рівня. У вищевказаній угоді Україна зобов'язалася обмежити викиди парникових газів на рівні, який до 2030 р. не

перевищуватиме 60 % від рівня 1990 р. [12, 16, 22, 25].

Об’єктивну оцінку змін, що відбуваються у кліматичній системі, періодично надає Міжурядова група експертів зі зміни клімату (МГЕЗК). В 2007 р. МГЕЗК у IV Доповіді з оцінки змін клімату вказує на безпрецедентну швидкість збільшення вмісту парникових газів в атмосфері. Зокрема, концентрація CO_2 , в порівнянні з доіндустріальною епохою, зросла на третину, а також відбувалося підвищення рівня метану (CH_4) і закису азоту (N_2O). Збільшення концентрації цих основних парникових газів із середини 18 століття, на думку вчених, з дуже високим ступенем ймовірності пов’язане з господарською діяльністю людини. За 100-річний період (1906–2005 рр.) зростання глобальної температури за лінійним трендом дорівнює $0,74\text{ }^\circ\text{C}$. Це свідчить про подальше підвищення температури в планетарному масштабі, у порівнянні з матеріалами Третьої доповіді ($0,6\text{ }^\circ\text{C}$) [12]. У 2018 р. МГЕЗК на V доповіді, яка стала науковою основою для Паризької кліматичної угоди, наголошує на тому, що діяльність людини спричинила $1,0\text{ }^\circ\text{C}$ глобального потепління вище доіндустріального рівня з ймовірним діапазоном від $0,8\text{ }^\circ\text{C}$ до $1,2\text{ }^\circ\text{C}$. Якщо в попередніх доповідях МГЕЗК розглядали різні чинники, які могли б посилювати зміну клімату, то у VI Доповіді з оцінки змін клімату (2021 р.) наголошується, що її безперечно спричинила діяльність людини, яка викликала частіші та інтенсивніші екстремальні кліматичні явища, такі, як сильні зливи й посухи тощо. Людська діяльність, що супроводжується викидами парникових газів і аерозолів, які частково маскують потепління, завдяки охолоджуючому ефекту, призвела до підвищення температури в кліматичній системі такими темпами, які безпрецедентні за принаймні останні 2000 років. Зростання температури відбувається більше над сушею (на $1,6\text{ }^\circ\text{C}$), у порівнянні над водними об’єктами ($0,9\text{ }^\circ\text{C}$). Вважається, що критичною межею підвищення середньорічної температури є $2\text{--}2,5\text{ }^\circ\text{C}$, оскільки подальше її збільшення призведе до катастрофічного стану біосфери. У документі зазначається, що концентрація вуглекислого газу (CO_2) з 1750 р. зросла на 47 %, а метану – на 156 % [22].

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

поглинанням та випромінюванням енергії, однак під час своєї господарської діяльності людство збільшує кількість парникових газів, тим самим порушує його. Таким чином, необхідно створити умови, щоб використовувати потенціал сільського господарства, зокрема тваринництва, з мінімізації негативних наслідків глобального потепління.

1. ВІДХОДИ СВИНАРСТВА ЯК ДЖЕРЕЛО ЕМІСІЇ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ

Майбутнє країни неможливе без потужного аграрного сектору економіки, що підтверджується останніми подіями в Україні. Однак, діяльність агропромислових сільськогосподарських підприємств обумовлює нагромадження, одночасно з основною продукцією, значного обсягу побічної продукції тваринного походження, зокрема органічних відходів, що породжують ряд зоотехнічних, ветеринарних та екологічних проблем [3, 26, 28, 34]. Чільне місце серед них займає ефективна, раціональна і екологічно безпечна утилізація продуктів життєдіяльності тварин, яка вимагає додаткових витрат, а в умовах ринку всі аграрії прагнуть максимізувати свої прибутки, не зважаючи на забруднення та погіршення природного навколишнього середовища [7]. Таким чином, необхідною умовою для ведення галузі тваринництва в цілому, і свинарства зокрема, є дотримання балансу між виробництвом продукції та утилізацією відходів.

Сільськогосподарські підприємства є потужними джерелами забруднення довкілля, оскільки вони виробляють набагато більше відходів, ніж може бути утилізовано на їх прилеглих територіях, що в подальшому негативно позначається і на здоров'ї людей [5, 35]. Тваринницькі комплекси для вирощування свиней обсягом понад 5 тис. голів і більше відносять до об'єктів, що становлять підвищену екологічну небезпеку [5, 15]. Тільки один свинарський комплекс на 100 тис. голів свиней забруднює навколишнє природне середовище рівноцінно великому промисловому центру з населенням 400–500 тис. осіб [7]. Шкодочинна дія від забруднення може бути більш значною, коли ферми розташовані поблизу населених пунктів або водних ресурсів [5, 35]. Слід відмітити, що внаслідок недотримання

технологій зберігання відходів створюються антисанітарні умови не тільки безпосередньо на території даного господарства, але і на значній відстані від нього [2]. Так, зокрема, із свинарського комплексу на 108 тис. свиней специфічний запах розповсюджується на відстань до 5 км [8]. Враховуючи наведене, вирішення екологічних проблем, зокрема, збереження чистоти навколишнього природного середовища в зоні діяльності господарств потребує більш ґрунтовних досліджень та є першочерговим завданням сучасної науки, враховуючи рентабельність і конкурентоспроможність виробництва.

Щорічно в нашій державі накопичуються мільйони тон органічних відходів тваринницьких комплексів, переробних підприємств тощо [3, 11]. Зокрема, в Україні від поголів'я худоби, свиней та птиці, що утримується підприємствами агропромислового комплексу (АПК) впродовж року утворюється понад 52 млн т гною [11]. Наприклад, із однієї тони гною виділяється 52 м³ біогазу, 60 % якого складає метан, що відноситься до парникових газів. Найбільше гною утворюється у скотарстві (44 %), свинарстві (39 %) і птахівництві (17 %). Так, зокрема, відомо, що на кожний літр молока (за продуктивності 5 тис. л на рік) виробляється 4 кг екскрементів, на 1 кг свинини (за приростів живої маси 600 г на день) – 11 кг, а на 1 кг яловичини – 30 кг (за приростів 1 кг на день) і це без врахування води та підстилки, що потрапляють у гній [17, 39, 41].

Гній можна накопичувати та зберігати у спеціальних сховищах (лагунах) з подальшим компостуванням або висококультивовану частину фракції при розподілі на фракції, піддавати анаеробній біологічній обробці для отримання біогазу, фізико-хімічної чи механіко-біологічної обробки тощо [9, 19]. Відходи тваринництва, внаслідок високого вмісту поживних речовин є не лише цінним добривом. Вони представляють значне екологічне навантаження на повітряне середовище, ґрунти, водоймища й підземні води, сприяють розповсюдженню хвороботворних мікроорганізмів, насіння бур'янів, яєць та личинок гельмінтів, мух [2]. Так, при порушенні технологій утримання тварин і зберігання відходів відбувається потрапляння у поверхневі води азоту, фосфору й інших речовин, які забруднюють їх та завдають шкоди водно-болотним угіддям і прибережним екосистемам.

Збагачення водойми біогенними елементами викликає її евтрофікацію тобто бурхливий розвиток водоростей й збільшення чисельності зоопланктону, внаслідок чого відбувається загибель водоростей, утворення фенолів та сірководню (H_2S), що призводить до отруєння всіх живих організмів у водоймі [9, 15]. Враховуючи проблеми з відходами тваринництва, поводження з ними вимагає жорсткого регулювання їх використання.

Накопичення великої кількості органічних відходів, зокрема гною, внаслідок розкладання органічної речовини, як в аеробних, так і в анаеробних умовах під дією мікроорганізмів обумовлює утворення летких продуктів розпаду, в результаті чого в атмосферу виділяється значне число газоподібних аерополітантів різного походження, у тому числі, й парникових газів [31, 36, 39–41]. Слід зазначити, що парникові гази не є звичайними забруднюючими речовинами прямої місцевої дії, вони діють кумулятивно, опосередковано, глобально, тому кумулятивність дії (парникового ефекту) обумовлює необхідність моніторингу викидів [24, 43].

Відповідно до оцінок Всесвітньої організації з продовольства та сільського господарства галузь тваринництва відповідає за 18 % усіх викидів парникових газів, що є більше, ніж викиди від транспорту (14 %) [9, 15, 27, 33]. Якщо ж врахувати ще й вирубку лісів, то частка сільського господарства у загальних викидах парникових газів зростає до 30 % [1]. З іншого боку, сільське господарство є ключовим сектором, який поряд із лісовим господарством, за ефективного управління може уповільнити та стабілізувати процес надходження парникових газів до атмосфери [12, 23]. Зокрема, ліси щорічно у світі засвоюють до 25 млрд. т вуглекислого газу, однак вони не в змозі в повному обсязі зменшити концентрацію викидів парникових газів у довкіллі [12].

На сектор тваринництва припадає утворення близько 9 % світових викидів вуглекислого газу, тривалість утримання його в атмосфері – 50–200 pp., 37 % антропогенного метану, 64 % викидів амонію і 65 % – закису азоту, тобто галузь впливає на атмосферне повітря та потенційно є важливим додатковим джерелом викидів, які мають безпосереднє відношення до зміни клімату [1, 44]. Парникові гази мають різні фізико-хімічні властивості та можуть перебувати в атмосфері

протягом різного періоду часу (від кількох діб до століть), тобто мають певний парниковий потенціал. Тому, для кожного газу визначається показник, як потенціал глобального потепління, що розраховується як відношення одного кілограма парникового газу, який надійшов до атмосфери, до одного кілограма CO_2 впродовж певного періоду часу (100 років). Так, для вуглекислого газу потенціал глобального потепління становить одиницю. Потоки CO_2 між атмосферою та екосистемами регулюються за допомогою поглинання через фотосинтез рослин і вивільнення при диханні, розкладанні органічної речовини [18, 22]. Потенціал впливу метану на клімат планети в 23 рази вищий, ніж CO_2 і цей газ здатний зберігатися в атмосфері до 12 років [1, 32, 37]. Метан виділяється в процесі метаногенезу в анаеробних умовах у ґрунтах і гноєсховищах, у процесі ентеральної ферментації та при неповному горінні органічної речовини [1, 18]. Викиди амонію в значній мірі сприяють кислотним дощам та підкисленню екосистем [1, 39]. Роль і потенціал N_2O у процесі глобального потепління в середньому в 296 разів перевищує аналогічні показники CO_2 . Головними джерелами викидів оксидів є тваринництво промислового напрямку, зокрема, зберігання та переробка гною, включаючи й процес внесення його в ґрунт [15, 18]. Закис азоту сприяє деструкції стратосферного озонового шару, який захищає живі істоти від шкідливого ультрафіолетового випромінювання сонця [1, 39]. Непрямим джерелом потенційного парникового газу – N_2O є аміак (NH_3), який виділяється переважно під час утворення гною на полях, при зберіганні його у лагунах і внесенні на поля. Осідає цей газ в поверхневих водах, може спричинити їх евтрофікацію. Викиди аміаку призводять до кислотних дощів, які пошкоджують посіви та природні екосистеми, викликають закиснення ґрунтів, знижують вміст азоту, а отже, й цінність гною як добрива. Емісія аміаку пов'язана з формуванням аерозолів, що можуть створити небезпеку для здоров'я людей [9, 29, 32, 42]. Одним із найтоксичніших з неприємним запахом газів, серед побічних продуктів розкладання гною вважається такий забруднювач повітря, як сірководень. Він утворюється шляхом бактеріального відновлення сульфату та розкладання сірковмісних органічних сполук. Сірководень є одним із факторів виникнення кислотних дощів, а відтак і зміни клімату [29, 42]. Згідно з даними

Європейського Союзу, більше 80 % аміаку, що забруднює атмосферу і 10 % метану, який руйнує озоновий шар, надходить із гною при несвоєчасному їх закладанні у ґрунт, при зберіганні у відкритих сховищах (лагунах) [44].

За останніми даними, концентрація парникових газів у атмосфері значно зросла. Зокрема, кількість вуглекислого газу, збільшилася в середньому на понад 40 %, що є найбільшим рівнем за останні 650 тис. років, тоді як концентрація метану, відповідно з доіндустріальним періодом, підвищилася у 2,4 рази, а закису азоту – на 20 % [23, 25]. Аналіз літературних джерел свідчить, що в повітрі щорічно зростає концентрація метану на 1,2–1,5 %, рівень N_2O – підвищується на 0,3 %, а інші гази – на 4 %. Таким чином, в цілому до середини XXI сторіччя парниковий вплив CH_4 і N_2O може бути рівним ефекту подвоєння концентрації CO_2 в атмосфері [15]. Прогнозується, що обсяги викидів основних парникових газів до 2030 р., за умови неприйняття низки заходів щодо покращення ситуації збільшаться на 25–90 %, відносно показників 2000 р. [35]. Згідно з прогнозом експертів МГЕЗК в Організації Об'єднаних Націй уже до 2050 року кліматичні зміни можуть призвести до непридатності проживання на великій частині території Африки та Азії, що сприятиме міграційним процесам [32].

В секторі сільського, лісового й рибного господарства, за даними Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), емісія парникових газів впродовж останніх 50 років підвищилася в два рази [44]. Галузь свинарства за рівнем емісії парникових газів, у загальній структурі тваринництва, займає друге місце, після скотарства, а за виділенням їх з гною – перше [14]. Так, згідно з даними В. В. Германа (2009 р.) та за оцінками «Фонду цільових екологічних інвестицій» викиди метану від кишкової ферментації свиней складають 1,5 кг/голову/рік, а з розкладання гною – 3,19 кг/голову/рік. Згідно із Національним кадастром антропогенних викидів парникових газів друге місце за обсягами їх утворення в Україні належить екскрементам тварин: на свинарство припадає 46 %, скотарство – 30 %, птахівництво – 20 %, на інші види тварин – 4 % [4]. Таким чином, сільське господарство в цілому і тваринництво, зокрема, яке часто потерпає від зміни клімату, одночасно є значним джерелом викидів парникових газів в атмосферу,

тобто однією із причин цієї зміни. Оскільки виробнича діяльність людини викликає порушення природного середовища, то суспільству випадає взяти на себе турботу про відновлення його властивостей та охорони від подальшої деградації. Тому, зменшення рівня забруднення довкілля парниковими газами, що утворюються в природному середовищі від побічної продукції тваринного походження залишається актуальним питанням та є важливим аспектом у функціонуванні підприємств агропромислового комплексу. Вирішення даної проблеми у свинарстві сприятиме підвищенню продуктивності тварин, одержанню доброякісної продукції і забезпечуватиме належний екологічний стан у зоні діяльності господарств.

Враховуючи тенденцію до поступового збільшення кількості викидів парникових газів, глобальність і темпи зміни клімату виникає необхідність та доцільність у запобіганні глобальному потеплінню за рахунок застосування ефективних засобів та способів із зменшення рівня емісії газоподібних аерополітантів з гною свиней, які б дали можливість забезпечити збереження чистоти навколишнього середовища для майбутніх поколінь, що має наукове й практичне значення і є невідкладним та своєчасним завданням сучасної науки.

3. НАУКОВО-ПРАКТИЧНІ АСПЕКТИ ЗАСТОСУВАННЯ ЗАСОБІВ ДЛЯ ЗМЕНШЕННЯ ЕМІСІЇ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ З ГНОЮ СВИНЕЙ

Одним із перспективних напрямів зменшення викидів парникових газів з побічної продукції тваринного походження є пошук засобів та впровадження способів, які б забезпечили мінімізацію негативних впливів і наслідків галузі тваринництва на навколишнє природне середовище.

Для вирішення вищевказаних завдань проведено дослідження з встановлення емісії парникових газів (CH_4 , NH_3 , H_2S , CO_2 , NO) з гною свиней при його зберіганні в лагунах за впливу неорганічних та органічних речовин у ТзОВ "Угринів Еко Ферм" Червоноградського району Львівської області. Рівень викидів парникових газів визначали за допомогою переносного сигналізатора – аналізатора газів – Дозор С-М-5 (сертифікат перевірки приладу типу UA.TR.001 212-18 і сертифікат відповідності

№ UA.TR.002.CB.1234-19) один раз на тиждень впродовж місяця після застосування досліджуваних речовин. У процесі проведення експерименту здійснювали контроль за кислотністю гною з використанням приладу рН-Метр Тип N5170.

На основі аналізу даних, одержаних у попередніх дослідженнях (*in vitro*) встановлено оптимальні ефективні дози неорганічних й органічних речовин. З урахуванням цінової доступності та екологічної безпеки для зменшення емісії парникових газів з гною свиней при зберіганні у лагунах було вибрано досліджувані речовини, які представлені у таких варіантах: I варіант – контроль (без внесення речовин); II – вермикуліт, 5 %; III – сапоніт, 5 %; IV – фосфоритне борошно, 2,5 %; V – гашене вапно, 2,5 %; VI – хвоя, 2,5 %; VII – лимонна кислота, 10 %; VIII – біодеструктор Водограй Чистий Хлів, 40 г/м³; IX варіант – біодеструктор Скарабей, 40 г/м³.

Характеристика досліджуваних неорганічних та органічних речовин:

❖ Вермикуліт (ТОВ «НВП "Укрвермикуліт"») – природний сорбційний мінерал з групи гідролюд пластинчастої структури з високими адсорбційними та катіонообмінними властивостями. Природний мінерал вермикуліт із загальною формулою – $(\text{Mg}^{+2}, \text{Fe}^{+2}, \text{Fe}^{+3})_3 [(\text{Al}, \text{Si})_4 \text{O}_{10}] \cdot (\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ має такий хімічний склад, %: MgO – 14–25, FeO – 1–3, Fe₂O₃ – 3–17, SiO₂ – 34–42, H₂O – 8–15.

❖ Сапоніт (АТОВ «Велес») – природний мінерал, водний алюмосилікат магнію з підкласу шаруватих силікатів, групи монтморилоніту. Він володіє високими адсорбційними, іонообмінними, каталітичними та фільтраційними властивостями. Природний мінерал сапоніт із формулою – $\text{NaMg}_3 \times [\text{AlSi}_3 \times \text{O}_{10}] (\text{OH})_2 \times 4\text{H}_2\text{O}$, має такий хімічний склад, %: SiO₂ – 42,2–54,6, TiO₂ – 1,1–1,85, MgO – 7,0–13,4, Al₂O₃ – 12,2–15,0, Fe₂O₃ – 10,1–15,4, FeO – 0,72–1,3, Mn₂O₇ – 0,11–0,33, CaO – 1,0–10,6, Na₂O – 0,1–1,0, K₂O – 0,19–2,9, P₂O₅ – 0,08–0,24, CO₂ – 0,56–0,74, H₂O – 7,36–7,79.

❖ Фосфоритне борошно (ТОВ «АПК "Беста"», ТУ 2183-001-73604987-2010) містить в своєму складі такі елементи, %: P – 24, Ca – 40, Mg – 1,5, Mo – 0,4, Mn – 0,5, S – 2, B – 0,1, Zn – 0,1. Фосфоритне борошно рекомендується використовувати на кислих ґрунтах, тому що це сприяє переходу фосфатів у засвоювану рослинами форму.

❖ Гашене вапно ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) – біла дрібнокристалічна речовина. Гідроксид кальцію належить до лугів. Розчинений у воді $\text{Ca}(\text{OH})_2$ майже повністю дисоціює на катіони кальцію і аніони гідроксиду.

❖ Лимонна кислота ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$) – це органічна кислота, що представляє групу трьохосновних карбонових кислот і являє собою дрібнокристалічну сипучу масу білого кольору без ароматичних властивостей. Кристали лимонної кислоти добре розчинні у воді, спирті, ефірі, проте не здатні їх розчинити – хлороформ, бензол, сірковуглець, толуол.

❖ Біодеструктор Водограй Чистий Хлів (ПП «Укрекобезпека», ТУ У 24,1-3192121179-001:2010) представлений збагаченими натуральними штамами бактерій, такими як *Bacillus Subtilis*, *Bacillus licheniformis*, *Rhodococcus Rhodochrous*, *Streptomyces albidoflvus*, наповнювач з кукурудзяної крупи.

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

У процесі проведення досліджень встановлено зміщення показника рН гною свиней при зберіганні його в лагунах у кисло сторону в усіх дослідних варіантах із застосуванням неорганічних та органічних речовин, що вказує на пригнічення процесів ферментації. Зокрема, внесення природних сорбентів – вермикуліту і сапоніту обумовлює зменшення рівня рН гною свиней у лагунах до 5,29 й 5,51, а додавання мінеральних добрив – фосфоритного борошна та гашеного вапна, відповідно, до – 5,65 і 5,81. Застосування органічних речовин – хвої й лимонної кислоти забезпечує зниження показника рН досліджуваних відходів свиней до 5,76 і 5,79, тоді як досліджувані біодеструктори Водограй Чистий Хлів та Скарабей сприяють зменшенню даного параметру до 5,12 й 5,46, відповідно. Зміщення рівня рН гною свиней при зберіганні в лагунах у кисло сторону тобто його зниження вказує на пригнічення життєдіяльності мікроорганізмів внаслідок вищої концентрації іонів H^+ . У контролі (без внесення речовин) рН досліджуваних

органічних відходів свиней у лагунах впродовж всього експерименту знаходилося в діапазоні – 6,2–6,64.

Аналіз одержаних експериментальних даних свідчить, що при застосуванні неорганічних та органічних речовин, одночасно із зменшенням показника рН досліджуваного субстрату відбувається зниження рівня емісії досліджуваних газів – CH_4 , NH_3 , H_2S , CO_2 , NO з гною свиней при його зберіганні у лагунах.

За результатами досліджень встановлено, що найефективніша дія на зменшення викидів досліджуваних парникових газів з гною свиней у лагунах при додаванні неорганічних та органічних речовин спостерігається на сьому добу. Пролонгованість позитивного впливу на рівень емісії парникових газів із гною свиней при зберіганні його у лагунах за внесення досліджуваних речовин дещо знижується до 31 доби досліджень.

Застосування природних сорбентів – вермикуліту й сапоніту обумовлює зменшення викидів метану з відходів свиней у лагунах (рис. 1), відповідно на 20,8 % та 16,2 %, щодо контрольного аналогу.

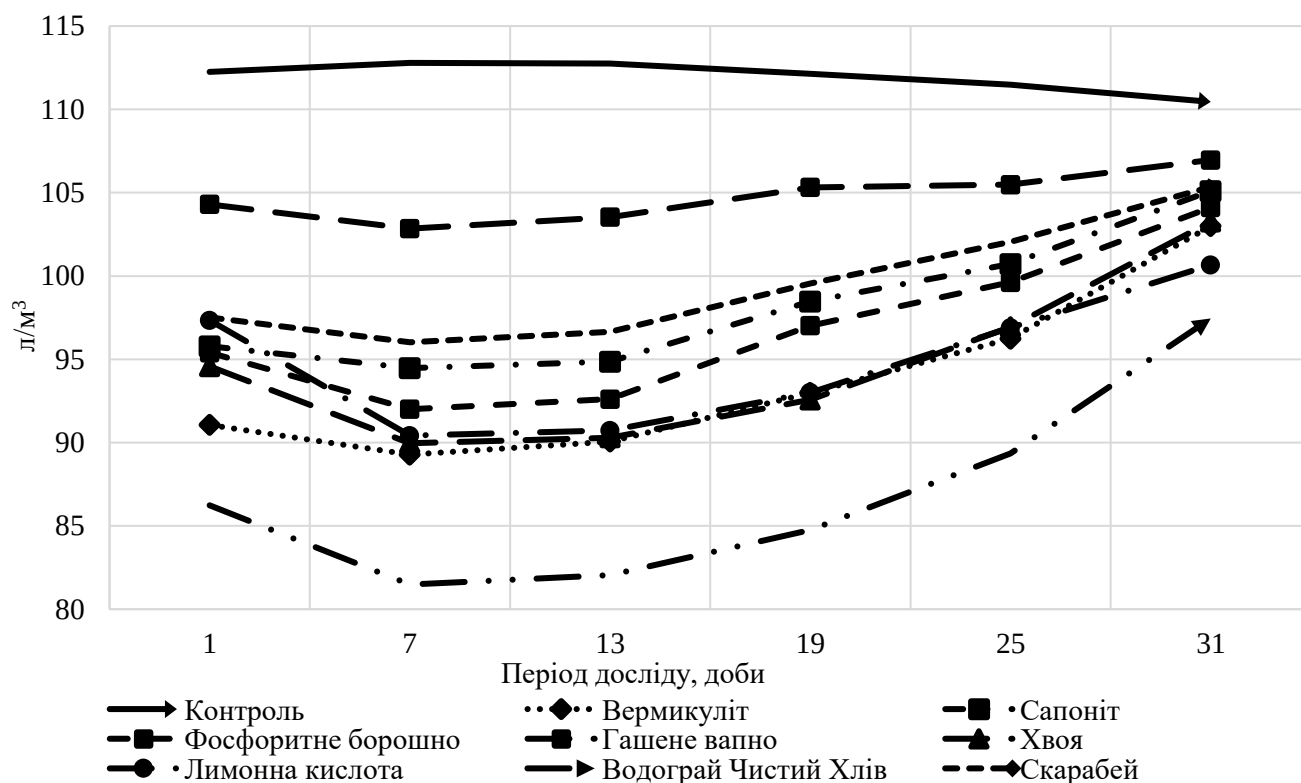


Рисунок 1 – Рівень емісії CH_4 з гною свиней при його зберіганні у лагунах за впливу неорганічних та органічних речовин, л/м³

Внесення у гній свиней при зберіганні його у лагунах мінеральних добрив – фосфоритного борошна і гашеного вапна сприяє нижчому рівню емісії CH_4 – на 18,4 % й 8,8 %, а органічні речовини – хвоя та лимонна кислота забезпечують зменшення викидів даного парникового газу – на 20,2 % й 19,8 %, відповідно. Водночас із позитивною дією досліджуваних перерахованих речовин, найефективніша дія на зниження рівня емісії метану з гною свиней у лагунах спостерігається у варіанті з біодеструктором Водограй Чистий Хлів – на 27,8 %. Біодеструктор Скарабей обумовлює зменшення викидів CH_4 з відходів галузі свинарства при зберіганні у лагунах на 14,9 %, у порівнянні з контролем.

Рівень емісії вуглекислого газу з гною свиней у лагунах (рис. 2) у варіантах з досліджуваними сорбентами – вермикулітом і сапонітом знижується, відповідно, на 30,8 % та 25,3 %, а з фосфоритним борошном й гашеним вапном – на 28,4 % і 23,1 %.

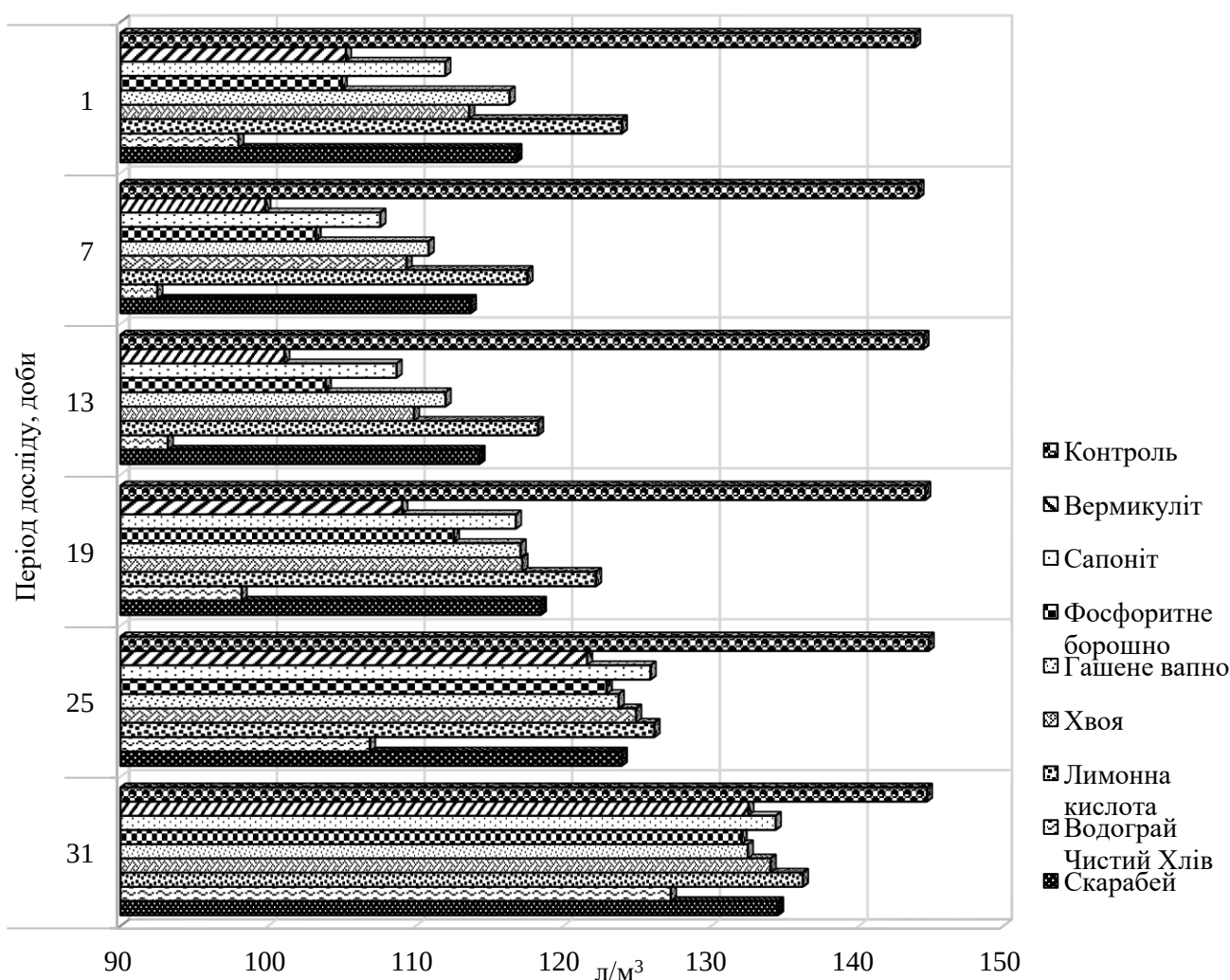


Рисунок 2 – Рівень емісії CO_2 з гною свиней при його зберіганні у лагунах за впливу неорганічних та органічних речовин, л/м³

У процесі проведення досліджень встановлено, що додавання хвої і лимонної кислоти сприяє зменшенню викидів CO_2 з відходів свиней при зберіганні у лагунах на 24,1 % та 18,4 %. Внесення до гною свиней у лагунах біодеструкторів Водограй Чистий Хлів й Скарабей обумовлює зниженню рівня емісії вуглекислого газу, відповідно, на 35,8 % і 21,1 %.

Одержані експериментальні дані свідчать, що застосування досліджуваних неорганічних та органічних речовин також проявляють позитивну дію на зменшення викидів аміаку з гною свиней при зберіганні у лагунах (рис. 3). Зокрема, додавання вермикуліту сприяє нижчому рівню емісії NH_3 з досліджуваного продукту життєдіяльності свиней у лагунах на 34,2 %, а сапоніту – на 29,7 %.

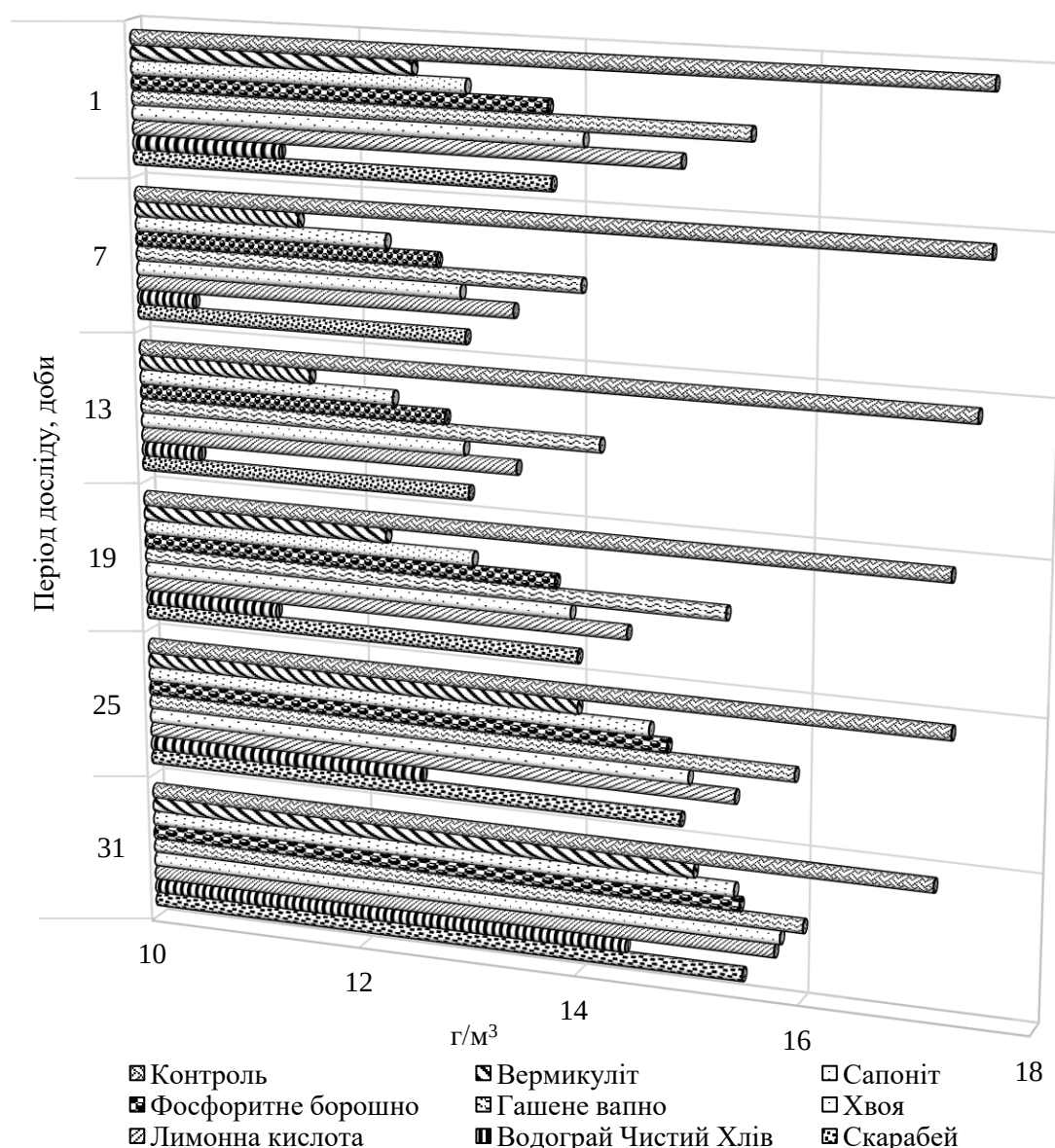


Рисунок 3 – Рівень емісії NH_3 з гною свиней при його зберіганні у лагунах за впливу неорганічних та органічних речовин, г/м^3

Викиди аміаку з гною свиней при його зберіганні у лагунах зменшуються у варіантах із внесенням фосфоритного борошна і гашеного вапна, відповідно, на 27,0 % й 19,7 %. Хвоя та лимонна кислота обумовлюють зниження рівня емісії NH_3 з відходів свиней у лагунах на 25,9 % і 23,1 %. Найкращі результати щодо зменшення викидів аміаку з гною свиней при зберіганні його у лагунах одержано за додавання біодеструктора Водограй Чистий Хлів – на 39,8 %. Біодеструктор Скарабей сприяє нижчому рівню емісії NH_3 з відходів свиней у лагунах на 25,6 %.

На основі експериментальних досліджень встановлено, що при застосуванні природних сорбентів – вермикуліту і сапоніту з продуктів життєдіяльності свиней у лагунах (рис. 4) відбувається зменшення викидів сірководню – на 37,6 % та 32,6 %.

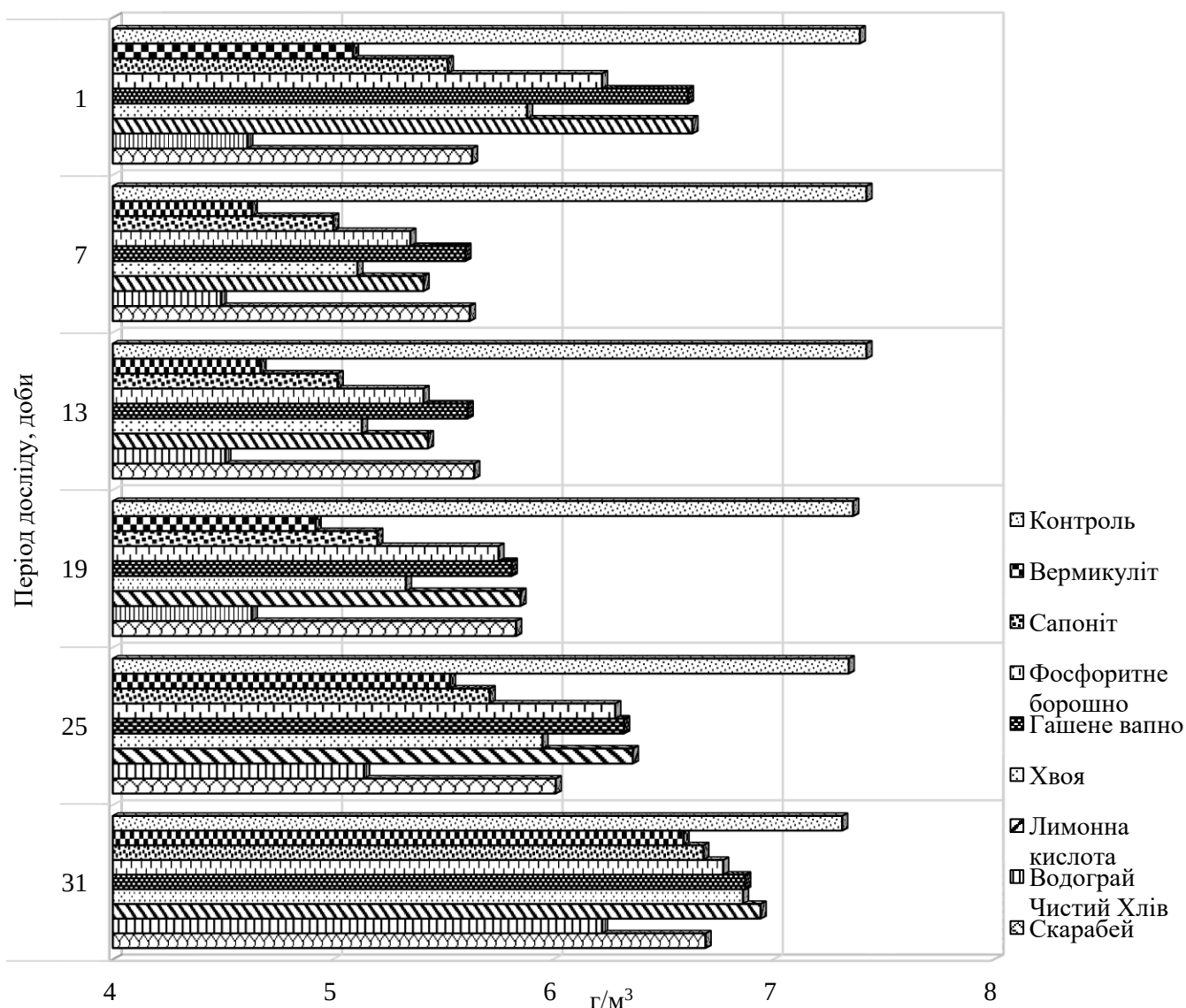


Рисунок 4 – Рівень емісії H_2S з гною свиней при його зберіганні у лагунах за впливу неорганічних та органічних речовин, г/м^3

Рівень емісії H_2S з гною свиней при його зберіганні у лагунах є нижчий у варіантах із фосфоритним борошном й гашеним вапном, відповідно, на 27,9 % й 24,6 %. Внесення хвої та лимонної кислоти в органічні відходи свиней у лагунах обумовлює зменшення викидів даного газу на 31,1 % і 27,1 %. Порівняльна оцінка дії біодеструкторів свідчить про зниження рівня емісії H_2S з гною свиней при його зберіганні у лагунах – на 39,5 % – у варіанті із біодеструктором Водограй Чистий Хлів проти 24,3 % – при застосуванні біодеструктора Скарабей.

Аналіз одержаних даних у процесі проведення дослідження свідчить, що додавання природних сорбентів – вермикуліту і сапоніту у гній свиней у лагунах (рис. 5) сприяє зменшенню викидів такого парникового газу, як NO , на 39,3 % та 35,2 %.

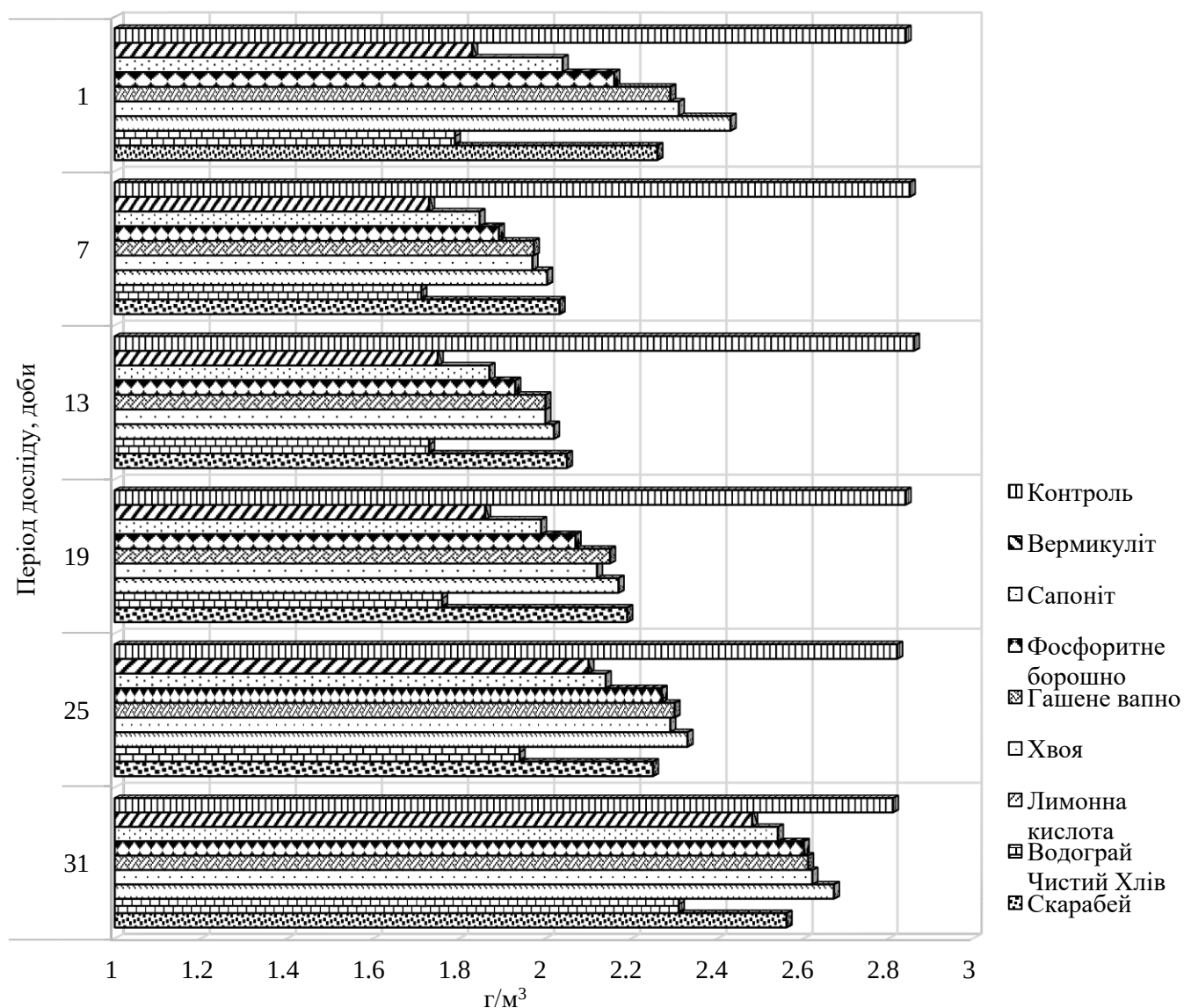


Рисунок 5 – Рівень емісії NO з гною свиней при його зберіганні у лагунах за впливу неорганічних та органічних речовин, г/м^3

Застосування мінеральних добрив – фосфоритного борошна й гашеного вапна обумовлює нижчий рівень емісії оксиду азоту з гною свиней при його зберіганні у лагунах, відповідно, на 33,6 % і 30,8 %. Внесення хвої та лимонної кислоти призводить до зменшення викидів NO з органічних відходів свиней у лагунах на 30,9 % й 29,7 %. У варіантах із біодеструкторами Водограй Чистий Хлів і Скарабей відбувається зниження рівня емісії NO з гною свиней при зберіганні його у лагунах, відповідно, на 39,9 % та 28,7 %.

Підсумовуючи одержані результати досліджень слід відмітити позитивний вплив досліджуваних неорганічних та органічних речовин на зменшення викидів парникових газів – CH_4 , NH_3 , H_2S , CO_2 , NO з органічних відходів свиней у лагунах. Експериментально встановлено, що найефективнішу дію на зниження рівня емісії парникових газів з гною свиней при зберіганні його у лагунах з природних сорбентів проявляє вермикуліт (20,8–39,3 %), з мінеральних добрив – фосфоритне борошно (18,4–33,6 %), з органічних речовин – хвоя (20,2–31,1 %), а з біодеструкторів – Водограй Чистий Хлів (27,8–39,9 %).

Водночас з позитивним впливом зазначених вище досліджуваних речовин на зменшення викидів парникових газів з гною свиней у лагунах, найкращі результати одержано у варіанті із біодеструктором Водограй Чистий Хлів. Зокрема, застосування даного біодеструктора обумовлює зниження рівня емісії газів – CH_4 , NH_3 , H_2S , CO_2 , NO з гною свиней при зберіганні його у лагунах, відповідно, на 27,8 %, 39,8, 39,5, 35,8 і 39,9 %. Слід відмітити, що біодеструктор Водограй Чистий Хлів проявляє також і найбільш пролонговану дію на зменшення викидів досліджуваних газів із відходів свиней у лагунах.

Отже, на основі проведених досліджень розроблено спосіб зниження рівня емісії парникових газів – CH_4 , NH_3 , H_2S , CO_2 , NO з гною свиней при зберіганні його у лагунах за рахунок застосування біодеструктора Водограй Чистий Хлів, що дасть змогу мінімізувати негативний вплив органічних відходів на навколишнє природне середовище, а відтак, підвищити ефективність ведення галузі свиначства.

ВИСНОВКИ

Встановлено позитивний вплив на зниження рівня емісії парникових газів – CH_4 , NH_3 , H_2S , CO_2 , NO з гною свиней при зберіганні його у лагунах застосування природних сорбентів (вермикуліту, сапоніту), мінеральних добрив (фосфоритного борошна, гашеного вапна), органічних речовин (хвої, лимонної кислоти) і біодеструкторів (Водограй Чистий Хлів, Скарабей).

Найефективнішу дію на зменшення викидів парникових газів – CH_4 , NH_3 , H_2S , CO_2 , NO з гною свиней у лагунах із природних сорбентів (вермикуліту та сапоніту) проявляє вермикуліт – на 20,8–39,3 % ($P < 0,05$ – $0,01$).

При порівняльній оцінці впливу мінеральних добрив – фосфоритного борошна і гашеного вапна найнижчий рівень емісії парникових газів – CH_4 , NH_3 , H_2S , CO_2 , NO з гною свиней при зберіганні у лагунах виявлено у варіанті з фосфоритним борошном – на 18,4–33,6 % ($P < 0,05$), порівняно з контролем, а різниця відносно гашеного вапна становить 2,8–9,6 % ($P < 0,05$ – $0,01$).

Застосування хвої та лимонної кислоти сприяє зменшенню викидів досліджуваних парникових газів – CH_4 , NH_3 , H_2S , CO_2 , NO з гною свиней у лагунах, відповідно, на 20,2–31,1 % ($P < 0,05$ – $0,01$) і 18,4–29,7% ($P < 0,05$ – $0,01$).

Найнижчий рівень емісії парникових газів – CH_4 , NH_3 , H_2S , CO_2 , NO з гною свиней при зберіганні його у лагунах встановлено за додавання біодеструктора Водограй Чистий Хлів – на 27,8–39,9 % ($P < 0,05$ – $0,01$), що вказує на перспективність використання даного препарату для запобігання забруднення навколишнього природного середовища при зберіганні побічної продукції тваринного походження в гноєсховищах (лагунах).

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бінковська Г. В., Шаніна Т. П. Оцінка обсягів викидів парникових газів в системах поводження з сільськогосподарськими відходами Одеської області. *Вісник ХНУ імені В. Н. Каразіна (серія «Екологія»)*. 2016. Вип. 14. С. 91–97.
2. Болтянський Б. В., Мовчан С. І., Дереза С. В. Використання відходів тваринництва та птахівництва. Матеріали Міжнародного науково-практичного форуму «Сучасні наукові дослідження на шляху до євроінтеграції» (м. Мелітополь, 21–22 червня 2019 р.). Мелітополь, 2019, Ч. 1. С. 61–64.
3. Бородай В. П., Пінчук В. О., Тертична О. В. Перспективні напрями екологічних досліджень у галузі тваринництва. *Агроекологічний журнал*. 2017. № 2. С. 44–48.
4. Герман В. В. Екологічна безпека при виробництві тваринницької продукції. *Агроекологічний журнал*. 2009. № 2. С. 5–8.
5. Демчук М. В., Решетник А. О., Лайтер-Москалюк С. В. Проблеми утилізації гною в сучасному тваринництві. *Науковий вісник ЛНУВМ та БТ імені С. З. Гжицького*. 2010. Т. 12, № 3 (4). С. 188–195.
6. Державний комітет статистики України: офіційний сайт. URL: https://ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/pub_l7_u.htm (дата звернення: 04.09.2023).
7. До питання розрахунку викидів парникових газів відходів тваринництва / М. О. Захаренко та ін. *Біоресурси і природокористування*. 2014. Т. 6, № 3–4. С. 63–70.
8. Дубін О. М., Василенко О. В. Екологічна оцінка складу атмосферного повітря у зоні тваринницьких комплексів. *Збірник наукових праць Уманського національного університету садівництва*. 2014. Вип. 85. С. 20–25.
9. Корбич Н. М. Екологічні проблеми в тваринництві. Матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції «Екологічні проблеми навколишнього середовища та раціонального природокористування в контексті сталого розвитку» (м. Херсон, 21–22 жовтня 2021 р.). Херсон, 2021. С. 143–146.

10. Лозинська І. В. Технологічні основи підвищення економічної ефективності вирощування свиней в сільськогосподарських підприємствах на основі інтенсифікації виробництва. *Вісник Сумського національного аграрного університету (серія «Економіка і менеджмент»)*. 2014. Вип. 4 (59). С. 53–58.
11. Мартенюк Г. М. Біоконверсія органічних відходів. Матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції «*Органічне виробництво і продовольча безпека*» (м. Житомир, 5–6 вересня 2017 р.). Житомир, 2017. С. 87–91.
12. Михайлова Є. О. Викиди парникових газів в Україні та світі. Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції «*Проблеми техногенно-екологічної безпеки : освіта, наука, практика*» (м. Харків, 24 листопада 2016 р.). Харків, 2016. С. 183–184.
13. Михалко О. Г. Сучасний стан та шляхи розвитку свинарства в світі та Україні. *Вісник Сумського національного аграрного університету (серія «Тваринництво»)*. 2021. Вип. 3 (46). С. 61–77.
14. Никифрук О. В., Жукорський О. М. Емісія парникових газів від свиноферм різної потужності. *Науковий вісник "Асканія-Нова"*. 2014. Вип. 7. С. 244–252.
15. Палапа Н. В., Пронь Н. Б., Устименко О. В. Промислове тваринництво: еколого-економічні наслідки. *Збалансоване природокористування*. 2016. № 3. С. 64–67.
16. Пінчук В. О. Емісія парникових газів у галузі тваринництва України. *Біоресурси і природокористування*. 2015. Т. 7, № 1/2. С. 115–118.
17. Пінчук В. О., Бородай В. П. Емісія аміаку та парникових газів з побічної продукції тваринного походження. *Таврійський науковий вісник*. 2019. № 110. Ч. 2. С. 190–198.
18. Симбірський А. І. Техніко-економічні показники розвитку сільськогосподарського виробництва та емісія парникових газів в Україні. *Проблеми загальної енергетики*. 2013. Вип. 3 (34). С. 60–65.
19. Скляр О. Г., Скляр Р. В., Григоренко С. М. Програма та методика експериментальних досліджень на лабораторній біогазовій установці. *Вісник*

Харківського національного університету с.-г. імені П. Василенка. 2019. Вип. 199. С. 267–275.

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

21. Сучасний стан та тенденції розвитку вітчизняного свинарства / В. Я. Лихач та ін. *Вісник Сумського національного аграрного університету*. 2021. Вип. 1 (44). С. 69–79.

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

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

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

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

26. Agricultural opportunities to mitigate greenhouse gas emissions: Review / J. M.-F. Johnson et al. *Environmental Pollution*. 2007. Vol. 150. P. 107–124.

27. Agriculture, forestry and other land use emissions by sources and removals by sinks. 1990-2011 analysis / F. N. Tubiello et al. FAO Statistics Division, Working Paper Series ESS/14-02. 2014. 89 p.

28. Biomass use, production, feed efficiencies, and greenhouse gas emissions from global livestock systems / M. Herrero et al. *PNAS*. 2013. Vol. 110, № 52. P. 20888–20893.

29. Blunden J., Aneja V. P. Characterizing ammonia and hydrogen sulfide emissions from a swine waste treatment lagoon in North Carolina. *Atmospheric environment*. 2008. Vol. 42 (14). P. 3277–3290.

30. Caro D. Greenhouse gas and livestock emissions and climate change. *Encyclopedia of food security and sustainability*. 2019. Vol. 1. P. 228–232.
31. Effect of covering pig slurry stores on the ammonia emission processes / S. Portejoie et al. *Bioresour Technol.* 2003. Vol. 87 (3). P. 199–207.
32. Effects of acidification during storage on emissions of methane, ammonia, and hydrogen sulfide from digested pig slurry / K. D. Wang et al. *Biosystems Engineering*. 2014. Vol. 122. P. 23–30.
33. Greenhouse gas emissions from different pig manure management techniques: a critical analysis / C. Dennehy et al. *Frontiers of Environmental Science and Engineering*. 2017. Vol. 11 (3), Issue 11. P. 11–16.
34. Greenhouse gas emissions from pig and chicken supply chains: A global life cycle assessment / M. MacLeod et al. *Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)*, 2013. 172 p.
35. Greenhouse gas mitigation in agriculture / P. Smith et al. *Phil. Trans. R. Soc. B*. 2008. Vol. 363. P. 789–813.
36. Harper L. A., Sharpc R. R., Parkin T. B. Gaseous emissions from anaerobic swine lagoons: Ammonia, Nitrous Oxide, and Dinitrogen Gas. *Journal of Environmental Quality*. 2000. Vol. 29. P. 1356–1365.
37. Koneswaran G., Nierenberg D. Global farm animal production and global warming: Impacting and mitigating climate change. *Environ. Health Perspect.* 2008. Vol. 116, № 5. P. 578–582.
38. Manure management for greenhouse gas mitigation / S. O. Petersen et al. *Animal*. 2013. № 7. P. 266–282.
39. Marszałek M., Kowalski Z., Makara A. Emission of greenhouse gases and odorants from pig slurry – effect on the environment and methods of its reduction. *Ecol. Chem. Eng. S*. 2018. Vol. 25, № 3. P. 383–394.
40. Moller H. B., Sommer S. G., Ahring B. Biological degradation and greenhouse gas emissions during pre-storage of liquid animal manure. *Journal of Environmental Quality*. 2004. Vol. 33. P. 27–36.
41. Monteny G. J., Groenestein C. M., Hilhorst M. A. Interactions and coupling

between emissions of methane and nitrous oxide from animal husbandry. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 2001. Vol. 60, Issue 1–3. P. 123–132.

42. Ni J.-Q., Heber A. J., Lim T.-T. Ammonia and hydrogen sulfide in swine production. In: *Air Quality and Livestock Production*. T. Banhazi, A. Aland, J. Hartung (Eds). 2018. London, UK: CRC Press: 29–47.

43. Safety in swine production systems. *Pork Industry Handbook. PIH*. K. Donham et al. 2010, 16–01.

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

Підписано до друку 30.10.2023.
Формат 30х42/4. Папір офсетний. Гарнітура Times New Roman.
Друк офсетний. Умовн. друк. арк. 1,01. Обл.-вид. арк. 1,11.
Тираж 100 прим.

Друкарня Інституту сільського господарства Карпатського регіону НААН,
вул. Грушевського, 5, с. Оброшине Львівського р-ну
Львівської обл., 81115