



## Технологии обращения с навозом и пометом, направленные на снижение эмиссии парниковых газов (обзор)

© 2026. С. А. Масловский<sup>1</sup>✉, И. Г. Голубев<sup>1</sup>, К. Ю. Цыганкова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБНУ «Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса», р. п. Правдинский, Московская обл., Российская Федерация,

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», г. Москва, Российская Федерация

Одной из экологических проблем, связанных с накоплением навоза и помета, является эмиссия парниковых газов. В процессе хранения, а также обработки навоза и помета происходят выбросы трех основных парниковых газов – углекислого газа ( $CO_2$ ), метана ( $CH_4$ ) и закиси азота ( $N_2O$ ). Помимо этого, также присутствуют выбросы аммиака ( $NH_3$ ), который не является парниковым газом, но относится к 4-му классу опасных химических веществ. Снижение величины их выбросов является важным условием повышения экологичности отрасли животноводства. Цель обзора – на основе экспертного анализа источников научно-технической информации выделить технологические приемы, направленные на снижение эмиссии парниковых газов и аммиака. Отмечено, что на этапе хранения навоза эффективно применение укрытия поверхности навозохранилища, разделение навоза на твердую и жидкую фракции с их последующей отдельной обработкой, подкисление жидкой фракции, использование очистных сооружений для адсорбции аммиака. Анализируя технологии переработки навоза установлено, что наиболее доступной является его компостирование с влагопоглощающим углеродосодержащим материалом. С целью снижения эмиссии парниковых газов и аммиака целесообразно применение технологий активного (ускоренного) компостирования, осуществляемого в биоферментаторах различной конструкции. Наиболее эффективными с экологической точки зрения следует признать такие технологии переработки, как анаэробное сбраживание и получение биоугля, которые осуществляются в аппаратах закрытого типа. Косвенное влияние биоугля на эмиссию парниковых газов проявляется в снижении выбросов закиси азота из почвы при внесении его в качестве агромульчания или использования в качестве добавки при компостировании. Применение описанных технологий в интенсивном животноводстве будет способствовать исполнению требований Парижского соглашения и соответствующих законодательных актов Российской Федерации о сокращении выбросов парниковых газов.

**Ключевые слова:** побочные продукты животноводства, хранение, обработка, углекислый газ, метан, закись азота, аммиак

**Благодарности:** работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса» (№ 082-00238-25-01 от 24 июня 2025 г.).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку данной работы.

**Конфликт интересов:** авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования:** Масловский С. А., Голубев И. Г., Цыганкова К. Ю. Технологии обращения с навозом и пометом, направленные на снижение эмиссии парниковых газов (обзор). Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2026;27(1):53–65. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2026.27.1.53-65>

Поступила: 29.04.2025

Принята к публикации: 20.01.2026

Опубликована онлайн: 27.02.2026

## Manure and litter handling technologies aimed at reducing greenhouse gas emissions (review)

© 2026. Sergey A. Maslovsky<sup>1</sup>✉, Ivan G. Golubev<sup>1</sup>, Kseniya Yu. Tsygankova<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Russian Research Institute of Information and Technical and Economic Studies on Engineering and Technical Provision of Agro-Industrial Complex, Pravdinsky settlement, Moscow region, Russian Federation,

<sup>2</sup>Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

One of the environmental problems associated with the accumulation of manure and litter is the emission of greenhouse gases. During the storage and processing of manure and litter, emissions of three main greenhouse gases occur – carbon dioxide ( $CO_2$ ), methane ( $CH_4$ ) and nitrous oxide ( $N_2O$ ). In addition, there are also emissions of ammonia ( $NH_3$ ), which is not a greenhouse gas, but belongs to the 4th class of hazardous chemicals. Reducing the amount of their emissions is an important condition for increasing the environmental friendliness of the livestock industry. The aim of the review was to identify technological methods aimed at reducing greenhouse gas and ammonia emissions on the basis of the expert analysis

of scientific and technical information sources. It has been noted that at the stage of manure storage it is effective to cover the surface of the manure storage, to separate the manure into solid and liquid fractions with their subsequent separate processing, to acidify the liquid fraction using treatment facilities for the adsorption of ammonia. When analyzing the manure processing technologies, it has been established that the most accessible is its composting with a moisture-absorbing carbon-containing material. In order to reduce the emission of greenhouse gases and ammonia, it is advisable to use active (accelerated) composting technologies carried out in biofermenters of various designs. The most effective from an environmental point of view there should be recognized such processing technologies as anaerobic fermentation and biochar production, which are carried out in closed-type devices. The indirect effect of biochar on greenhouse gas emissions is manifested in a decrease in nitrous oxide emissions from the soil when it is added as an agro-ameliorant and used as an additive in composting. The application of the described technologies in intensive livestock farming will contribute to the fulfillment of the requirements of the Paris Agreement and the relevant legislative acts of the Russian Federation.

**Keywords:** animal by-products, storage, processing, carbon dioxide, methane, nitrous oxide, ammonia

**Acknowledgments:** the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Russian Research Institute of Information and Technical and Economic Studies on Engineering and Technical Provision of Agro-Industrial Complex (No. 082-00238-25-01 dated June 25, 2025).

The authors thank the reviewers for their contribution to the expert assessment of this work.

**Conflict of interest:** the authors declare no conflict of interest.

**For citation:** Maslovsky S. A., Golubev I. G., Tsygankova K. Yu. Manure and litter handling technologies aimed at reducing greenhouse gas emissions (review). *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2026;27(1):53–65. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.20265.27.1.53-65>

Received: 29.04.2025

Accepted for publication: 20.01.2026

Published online: 27.02.2026

Аграрный сектор экономики является одним из наиболее отходоёмких. Производство основного сельскохозяйственного продукта связано с образованием большого количества отходов, выход которого иногда составляет 15–30 % массы исходного сырья<sup>1</sup>. Наибольшая часть отходов, образующихся в агропромышленном производстве, приходится на отрасль животноводства – 56 %, на долю птицеводства – 3,7 % [1]. По данным Национальной мясной ассоциации [2], в Российской Федерации в хозяйствах всех категорий за год образуется около 300 млн т навоза и помета, в т. ч. примерно 180 млн т в сельхозорганизациях и крестьянских (фермерских) хозяйствах, из них 24 млн т – на свиноводческих предприятиях и 18 млн т – на птицеводческих. Степень их утилизации крайне низка и не превышает 45 % [3].

Накопление переработанных навоза и помета, которые в соответствии с Федеральным классификационным каталогом отходов (ФККО) отнесены к III-IV классам опасности<sup>2</sup>, представляет собой серьёзную экологическую проблему. Она заключается в непродуктивном использовании сельскохозяйственных земель, занятых под их хранение (по данным А. Г. Шестакова и др. [4], они занимают более 2 млн га), высоком риске

контаминации почвы, грунтовых и поверхностных вод патогенными, условно-патогенными микроорганизмами, яйцами гельминтов, солями тяжёлых металлов, нитратным, аммиачным, амидным азотом, фосфатами, высокой эмиссии парниковых газов (углекислого газа, метана, закиси азота), а также неприятного запаха. Ежегодный эколого-экономический ущерб, связанный с негативным влиянием накопления отходов животноводства, оценивается более чем в 150 млрд руб. [5].

Проблема эмиссии парниковых газов и снижения их количества известна ещё с 90-х годов XX века. В 2019 г. Российской Федерацией было подписано Парижское соглашение, направленное на ограничение роста средней температуры окружающей среды ниже 2 °С. Во исполнение этого соглашения был подписан Указ Президента Российской Федерации «О сокращении выбросов парниковых газов»<sup>3</sup>, согласно которому «необходимо обеспечить к 2030 г. сокращение выбросов парниковых газов до 70 % к уровню 1990 г.». Правительством РФ была разработана и принята стратегия развития Российской Федерации до 2050 года, направленная на минимизацию выбросов парниковых газов от разных секторов, в том числе от сектора «Сельское хозяйство»<sup>4</sup>.

<sup>1</sup>Голубев И. Г., Шванская И. А., Коноваленко Л. Ю., Лопатников М. В. Рециклинг отходов в АПК: справочник. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2011. 296 с.

<sup>2</sup>Приказ Росприроднадзора от 22.05.2017 № 242 (ред. от 20.12.2024) «Об утверждении Федерального классификационного каталога отходов». [Электронный ресурс]. URL: <https://rpn.gov.ru/fkko/> (дата обращения: 15.04.2025 г).

<sup>3</sup>Указ Президента Российской Федерации от 4 ноября 2020 г. № 666 «О сокращении выбросов парниковых газов». [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document> (дата обращения: 02.03.2025).

<sup>4</sup>Распоряжение Правительство РФ «О Стратегии социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года» от 29 октября 2021 года № 3052-р. [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document> (дата обращения: 02.04.2025).

По данным, представленным Е. В. Шаниной и др. [6], выбросы парниковых газов, связанные с сельскохозяйственным производством, составляют 18,4% от общего объема мировых выбросов. На систему сбора и хранения навоза приходится 12,28 % от общей эмиссии парниковых газов, образующихся на предприятиях АПК, – т. е. на нее приходится третье место после возделывания почвы и внутренней ферментации с.-х. животных.

**Цель обзора** – на основе экспертного анализа источников научно-технической информации, преимущественно за последние 25 лет, выделить технологические приемы, направленные на снижение эмиссии парниковых газов и аммиака.

**Материал и методы.** Отбор и систематический обзор источников научно-технической информации (научной литературы, законодательных актов, патентов и др.) по заданной теме был выполнен в научных электронных библиотеках и поисковых системах eLIBRARY.RU, Web of Science, Scopus и Google Scholar по ключевым словам: навоз, помет, хранение, обработка, переработка, экология, эмиссия, парниковые газы. При анализе источников научно-технической информации на начальном этапе проводился просмотр только заголовков и аннотаций, в дальнейшем – анализ полных текстов отобранных статей. В результате поиска окончательно отобрано 43 отечественных и иностранных источника, преимущественно последних лет, которые были включены в список использованной литературы.

**Основная часть.** *Навоз и помет – источник эмиссии парниковых газов.* Как отмечалось во вводной части, одним из факторов негативного влияния накопления навоза и помета является выделение ими парниковых газов. П. И. Гридневым и др. [7] отмечено, что при подготовке навоза к использованию в окружающую среду происходит выброс трех парниковых газов: углекислого газа ( $\text{CO}_2$ ), метана ( $\text{CH}_4$ ) и закиси азота ( $\text{N}_2\text{O}$ ), а также аммиака, который не является парниковым газом, но относится к 4-му классу отравляющих веществ.

По оценке этих авторов, величина выброса углекислого газа от сельскохозяйственного производства незначительна и не превышает 4 %. Кроме того, вклад данного газа в потенциал глобального потепления незначителен – в 23 раза меньше по сравнению с метаном и в 296 раз меньше – с закисью азота,

поэтому его влиянием на климат при оценке сельскохозяйственных технологий пренебрегают.

Величина выброса парниковых газов зависит от вида животного, рациона кормления, способов их содержания и технологий утилизации навоза [8].

Интенсивность выбросов закиси азота возрастает при наличии достаточного кислорода для нитрификации. В жидком навозе преобладают бескислородные условия, затрудняющие как нитрификацию, так и денитрификацию, поэтому образование закиси в нем практически не происходит. Эмиссия закиси азота может происходить только в случае образования естественного плавающего слоя с повышенным содержанием органических веществ и аэробной активностью. Покрытие хранилищ жидкого навоза полиэтиленовой пленкой не влияет на интенсивность выбросов закиси азота. Наибольшая эмиссия  $\text{N}_2\text{O}$  отмечается при содержании животных на глубокой подстилке, особенно при ее рыхлении.

Интенсивность выбросов метана, наоборот, усиливается в анаэробных условиях и зависит от температуры и химического состава исходного навоза. При хранении твердого навоза, по сравнению с жидким, интенсивность его выбросов снижается.

Выбросы аммиака в значительной степени зависят от содержания аммонийного азота в общем азоте и способа хранения [9]. Эмиссия аммиака приводит к непродуктивным потерям азота и снижению удобрительной ценности навоза. Потери аммиака зависят от продолжительности, интенсивности воздухообмена и размера поверхности теплообмена.

Данные по влиянию способов хранения навоза, полученного от коров и свиней, на выбросы газов представлены в таблице 1.

Эмиссия парниковых газов в животноводческих помещениях зависит от санитарного состояния. И. Н. Казаровец и др. [10] отмечали, что регулярная очистка навозоприемных каналов и регулярный вывоз навоза способствуют снижению выбросов метана и закиси азота на 55 и 41 % соответственно.

С целью снижения эмиссии газов при хранении навоза предлагаются различные технические решения. Так, М. Гуарино и др. (M. Guarino et al.) [11] при хранении навоза, полученного от свиней и КРС, рекомендуют покрытие, в состав которого входят растительное масло (смесь рапсового и соевого), керамзит, измельченные стебли кукурузы,

пшеничная солома и древесная стружка. Применение такого покрытия снижало выбросы аммиака и интенсивность запаха, но не оказывало существенного влияния на его выбросы. А. С. Вандерзааг и др. (A. C. Vanderzaag et al.) [12] с целью снижения выброса аммиака рекомендуют покрытия на основе природных (нату-

ральная корка, солома, торф, легкий керамзит), синтетических (геотекстиль, пластик, резина) или композитных материалов, М. Хеллстедт и др. [13] – использование плавающего пористого пластикового покрытия, разработанного и производимого фирмой NMC Cellfoam (Финляндия).

Таблица 1 – Влияние способов хранения навоза молочных коров и свиней на эмиссию газов N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub> и NH<sub>3</sub>, кг/место в год [7] /

Table 1 – The influence of storage methods of dairy cow and pig manure on the emission of N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub> and NH<sub>3</sub> gases, kg/place per year [7]

Способ хранения / Method of storing	Эмиссия закиси азота / Nitrous oxide emission,		Эмиссия аммиака / Ammonia emission		Эмиссия метана / Methane emission		Суммарный экв. CO <sub>2</sub> / Total CO <sub>2</sub> equiv.
	N <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub> equiv.	NH <sub>3</sub>	CO <sub>2</sub> equiv.	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub> equiv.	
<b>Молочные коровы / Dairy cows</b>							
Бесподстильный навоз / Litterless manure							
Открытые хранилища* / Open storages*	0,0	0,0	32,6	336,1	43,4	911,5	1248
Хранилища с пленочным покрытием / Film-lined storage facilities	0,0	0,0	22,2	228,5	43,4	911,5	1140
Подпольное хранение / Underground storage	0,4	135,3	24,0	246,8	43,4	911,5	1294
Подстильный навоз / Litter manure							
Хранение в буртах / Storage in piles	1,1	338,2	31,0	318,8	5,1	107,2	764
Глубокая подстилка / Deep litter	2,2	676,4	31,3	322,1	43,4	911,5	1910
<b>Откорм свиней / Fattening pigs</b>							
Бесподстильный навоз / Litterless manure							
Открытые хранилища* / Open storages*	0,0	0,0	4,6	47,3	6,0	126,1	173
Хранилища с пленочным покрытием / Film-lined storage facilities	0,0	0,0	3,6	36,9	6,0	126,1	163
Подпольное хранение / Underground storage	0,0	12,5	4,2	43,2	6,0	126,1	182
Подстильный навоз / Litter manure							
Хранение в буртах / Storage in piles	0,1	31,2	5,6	58,2	0,7	14,8	104
Глубокая подстилка / Deep litter	0,2	62,4	5,7	58,6	6,0	126,1	247

\* – Без образования естественного плавающего слоя / \* – Without formation of a natural floating layer

Многие авторы рекомендуют комплексные решения, предусматривающие разделение навоза на фракции, его подкисление и использование очистных сооружений для адсорбции аммиака. Эти положения были освещены в работах В. И. Базыкина [14], Ю. Н. Терентьева и др. [15], Н. В. Сырчиной и др. [16], Л. В. Филип и др. [17]. Отмечено, что хранение твердого навоза позволяет снизить выбросы метана на 25–30 % и закиси азота – на 15–20 % [18].

Эмиссия парниковых газов при аэробном компостировании и анаэробном сбраживании навоза и помета. Компостирование – микробиологический способ переработки навоза с целью получения органического удобрения. Это процесс экзотермического окисления, в котором органический субстрат подвергается биодеградации смешанной популяцией микроорганизмов, включающей бактерии археи и грибы [19]. В состав компостной смеси, помимо навоза или помета, входят солома,

опилки, древесная кора и другие высокоуглеродистые материалы, позволяющие обеспечить достаточную аэрацию компостируемой массы и оптимальное соотношение C:N (20–30:1).

В соответствии с Методическими рекомендациями по технологическому проектированию систем удаления и подготовки к использованию навоза и помета РД-АПК 1.10.15.02-17<sup>5</sup> выделяют пассивный (традиционный) и активный (ускоренный) способы компостирования, которые различаются своими режимами. Пассивное компостирование осуществляется в естественных условиях в буртах на прифермских и полевых площадках. Активное, или ускоренное, предусматривает управление процессами жизнедеятельности анаэробных микроорганизмов с использованием специализированных установок – ферментаторов.

Компостирование является базовой технологией переработки побочных продуктов животноводства. К ее достоинствам относятся относительно низкие капитальные и эксплуатационные затраты, простота технологии, используемых технических средств и оборудования [20, 21].

Имеются данные о том, что при компостировании навоза на свинофермах выброс парниковых газов составлял 24 % по сравнению с традиционной технологией обращения с жидким навозом<sup>6</sup> [22], который увеличивается, если во время выдерживания проводят ворошение буртов. При этом происходит высвобождение газов, находящихся внутри компостируемой массы, что и увеличивает выбросы CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, но данный прием способствует ускорению разложения компостируемого материала [23]. Этими же авторами отмечено снижение выбросов метана и закиси азота при введении в компостную смесь опилок или соломы, являющихся их естественными абсорбентами.

Исследования, проводившиеся в Китае на примере четырех видов сырья (свиной навоз, навоз КРС, овечий навоз, куриный помет), показали, что вне зависимости от типа сырья 90 % парниковых газов образуется на начальном (0–15 сут) и конечном (36–49 сут) периодах компостирования. В первые 35 суток

компостирования преобладала эмиссия CO<sub>2</sub>, на который в структуре газообразования приходилось 90 %, в поздний период компостирования преобладала эмиссия N<sub>2</sub>O – 40–75 %, доля CH<sub>4</sub> в этот период составляла менее 8 % [24, 25].

В основе технологий активного компостирования лежит метод биоферментации – аэробной ферментации посредством регулируемой аэрации компостируемой смеси. Насыщение компостируемой массы кислородом из воздуха способствует активации биологического окисления органического вещества, температура в перерабатываемой массе повышается до 60 °С, что обеспечивает ее дезинфекцию и девитализацию. Данная технология предусматривает использование камерных и барабанных ферментаторов [26, 27].

Для реализации технологии активного компостирования применяют биоферментаторы камерного или барабанного типов. Процессы компостирования в них схожи, основное отличие заключается в том, что в установках барабанного типа в процессе переработки осуществляется вращение корпуса биоферментатора, за счет чего обеспечивается стабильность процесса и равномерное созревание компоста.

Установка барабанного типа позволяет вести процесс биоферментации в двух технологических режимах процесса биоконверсии: циклическом и поточном. При циклическом режиме схема работы аналогична функционированию установки камерного типа: подготовка смеси, загрузка, процесс биоконверсии, полная отгрузка. При поточном режиме переработки производится частичная выгрузка готового продукта из установки с одновременной загрузкой новой партии перерабатываемого материала.

Р. А. Уваров [27], сопоставляя технологии компостирования в буртах и биоферментаторах, отмечал различия в уровнях эмиссии биогенных элементов. Так, при буртовом компостировании она составляет 20–27 % без аэрации и 16–22 % – с аэрацией, в установках камерного типа – 13–20 %, барабанного – 4–8 % от исходного содержания аммонийного азота.

<sup>5</sup>Методические рекомендации по технологическому проектированию систем удаления и подготовки к использованию навоза и помета РД-АПК 1.10.15.02-17. [Электронный ресурс].

URL: <https://rpn.gov.ru/fkko/> (дата обращения: 15.04.2025).

<sup>6</sup>Компостирование как способ снижения выбросов парниковых газов при обращении с органическими отходами. [Электронный ресурс]. URL: <https://compostpro.ru/tpost/e4s1mi9741-kompostirovanie-kak-sposob-snizheniya-vi> (дата обращения: 16.04.2025).

Различия в величине эмиссий могут быть объяснены следующим:

- продолжительностью периодов переработки: при буртовом компостировании без аэрации – 2-3 мес.; с аэрацией – до 1,5 мес.; в биоферментаторах камерного типа – 7–9 сут; барабанного – 3-4 сут.

- при активном компостировании используется предварительно обезвоженная твердая фракция навоза, которая изначально характеризуется пониженным уровнем эмиссии парниковых газов;

- биоферментаторы обеспечивают определенный уровень изоляции компостируемой массы от окружающей среды.

Таким образом, технологии аэробного компостирования можно рассматривать как способ утилизации навоза, обеспечивающий в той или иной степени снижение уровня эмиссии парниковых газов, позволяющий получать ценное органическое удобрение, которое может использоваться внутри хозяйства или реализовываться как отдельный продукт.

Анаэробное сбраживание представляет собой один из возможных способов биоконверсии побочной продукции животноводства, в результате которой образуется два целевых продукта – биогаз (в основном метан и углекислый газ) и дигестат (сброженный органический остаток, используемый в качестве органического удобрения). С учетом применения сброженного навоза в качестве удобрения, данный способ переработки позволяет сократить выбросы парниковых газов более чем на 30 % по сравнению с традиционными системами переработки навоза [28, 29].

Поскольку технологический процесс анаэробного сбраживания навоза и помета в биогазовых установках не сопровождается непосредственным выбросом газов в атмосферу, можно говорить о косвенных выбросах на этапах сбора, а также хранения навоза и помета. Согласно расчетам Е. С. Ключковой и М. Д. Харламовой [30], применительно к птицефабрике «Синявинская», внедрение технологии анаэробного сбраживания способно сократить массу выбросов метана от уборки, хранения и утилизации на 72,6 %, закиси азота – на 40 %. Аналогичные результаты были получены при сравнении четырех технологий переработки помета бройлеров: длительное выдерживание; компостирование; анаэробное сбраживание на биогазовой установке; производство биоугля [31].

Также необходимо отметить, что биогаз при сжигании характеризуется меньшим выбросом парниковых газов по сравнению с другими видами углеводородного топлива.

Вид навоза, используемого в качестве сырья для анаэробного сбраживания, оказывает влияние на выход биогаза [32]. Так, для навоза КРС он составляет 0,250–0,340, свиного – 0,340–0,580, конского – 0,200–0,300, овечьего – 0,300–0,620 м<sup>3</sup> на 1 кг сухого вещества. Наибольшая концентрация метана наблюдается в свином (65–70 %) и овечьем (70 %) навозе.

Ю. В. Караевой и др. [33] с помощью модифицированной модели Гомпертца произведена оценка динамики образования биогаза при сбраживании четырех вариантов смесей, содержащих коровий навоз, растительные добавки и биоуголь. Установлено, что наибольший его выход обеспечивает добавление фитомассы амаранта и биоугля из лужги подсолнечника.

*Технологии переработки навоза и компоста на биоуголь.* Одним из перспективных направлений утилизации побочных продуктов животноводства является преобразование их органических веществ под действием нагрева в инертной атмосфере при отсутствии кислорода и температуре от 350 до 1000 °С. При этом образуются три фракции: неконденсируемая газообразная, включающая главным образом СО, СО<sub>2</sub>, СН<sub>4</sub> и Н<sub>2</sub>; жидкая (бионефть или смесь тяжелых углеводородов); твердый остаток – биоуголь [34]. Все компоненты могут использоваться в качестве целевого продукта. Газообразную и жидкую фракции можно применять в качестве топлива, биоуголь – как адсорбент, катализатор, и как агроメリорант, обогащающий пахотный горизонт углеродом, связывающий питательные элементы, снижающий риск поступления в продукцию тяжелых металлов и способствующий повышению микробиологической активности [35, 36, 37].

Поскольку получение биоугля осуществляется в закрытых установках – пиролизных печах, непосредственный выброс парниковых газов при его производстве минимален. Однако значение данного способа переработки для снижения экологической нагрузки достаточно высоко и заключается в следующем:

- применение биоугля в качестве агроメリоранта способствует снижению эмиссии закиси азота из почвы, не оказывая существенного влияния на эмиссию углекислого газа [38, 39];

- добавление биоугля при компостировании навоза сокращает выбросы метана на 91 % и закиси азота – на 56-57 % [40];

- биоуголь может быть включен в состав кормовых рационов для сельскохозяйственных животных [41].

Следует также отметить, что биоуголь, в отличие от навоза и помета, имеет значительно меньший объем, его проще хранить

и транспортировать. Для его внесения на поля можно использовать машины для внесения минеральных удобрений.

Показатели экономической эффективности производства биоугля из побочных продуктов животноводства в сравнении с гранулированными органическими и органоминеральными удобрениями, рассчитанные на основе данных<sup>7</sup> [42], приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Экономическая эффективность производства биоугля по сравнению с другими способами переработки навоза и помета /

Table 2 – Economic efficiency of biochar production compared to other methods of processing manure and litter

Конечный продукт / The final product	Себестоимость, тыс. руб/м / Production cost, thousand rubles/t	Отпускная цена, тыс. руб/м / Selling price, thousand rubles/t	Прибыль, тыс. руб/м / Profit, thousand rubles/t	Уровень рентабельности, % / Profitability level, %
Биоуголь / Biochar	10–14*	40–80	26–70	185–700
Гранулированное органическое удобрение / Granular organic fertilizer	3-4	7–8	3–5	75–166
Гранулированное органоминеральное удобрение / Granulated organomineral fertilizer	8-9	15–30	9–22	100–275

\* – Без учета стоимости выработанного тепла / \* – Excluding the cost of generated heat

Таким образом, производство биоугля позволяет обеспечить наиболее высокий уровень рентабельности, который может достигать до 700 %, что превышает соответствующий показатель производства гранулированных органических и органоминеральных удобрений и может рассматриваться как самостоятельное направление бизнеса при достаточной обеспеченности сырьевыми ресурсами.

По данным Е. Тюриной и др. [43], внесение биоугля способствует повышению урожайности сельскохозяйственных культур (капусты, картофеля) до 41,26 т/га на участках без дренажа и 49,91 т/га с дренажом против 27,0 т/га в контроле, на основании чего можно рекомендовать производство биоугля для использования его на внутрихозяйственные цели.

**Заключение.** На основании аналитического исследования источников научно-технической информации, касающихся вопросов эмиссии парниковых газов при хранении и различных способах переработки навоза и помета, можно сделать следующие выводы:

1. Навоз и птичий помет являются существенными источниками эмиссии парниковых газов и аммиака, что является одним из экологических рисков, связанных с их накоплением.

С целью снижения эмиссии рекомендуется поддержание оптимального санитарно-гигиенического состояния в животноводческих помещениях, своевременная уборка навоза из навозоприемных каналов и его удаление за пределы помещения, использование материалов, формирующих защитный слой на поверхности навозохранилищ, подкисление жидкого навоза до pH 4,5–5,2, использование очистительных систем, предусматривающих абсорбцию газов, применение технологий хранения навоза с разделением на твердую и жидкую фракции.

2. Технологии аэробного и анаэробного компостирования следует рассматривать как способы переработки побочных продуктов животноводства, обеспечивающие существенное снижение выбросов парниковых газов и аммиака по сравнению с хранением необработанного навоза и получение высококачественного органического удобрения (компоста). Предпочтительнее использование активного (ускоренного) компостирования, поскольку его продолжительность значительно короче, чем традиционного. Процесс осуществляется

<sup>7</sup>Лелеков И. Древесный уголь, биоуголь, биочар: расставляем все точки над «био». [Электронный ресурс]. URL: <https://lesprominform.ru/jarticles.html?id=5817&ysclid=mei4of709m992501255> (дата обращения: 19.08.2025).

в сооружениях, изолированных от окружающей среды (биоферментаторах), что позволяет получать компост высокого качества. Сокращению эмиссии газов способствует включение в состав компостируемой смеси биоугля.

3. Анаэробное сбраживание побочных продуктов животноводства с получением биогаза и производство биоугля являются технологиями, при которых контакт сырья с окружающей средой минимален. Они наиболее эффек-

тивно снижают выбросы в атмосферу парниковых газов и аммиака. Реализация данных технологий позволяет получать горючий газ, который может использоваться в качестве топлива, жидкое органическое удобрение (дигестат) и, собственно, биоуголь, рентабельность производства которого может достигать 700 %, что существенно превышает эффективность производства гранулированных органических и органоминеральных удобрений.

#### *Список литературы*

1. Федоренко В. Ф., Буклагин Д. С., Зозуля А. Н., Нагорнов С. А., Голубев И. Г., Коноваленко Л. Ю. Инновационные технологии производства биотоплива второго поколения. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2009. 68 с.
2. Синельников М. Побочные продукты – это не отходы. Животноводство России. 2023;(2):8–11. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=50232035> EDN: VKUEWA
3. Попов В. Д., Максимов Д. А., Брюханов А. Ю. Экологические проблемы сельскохозяйственного производства и их решение в Северо-Западном федеральном округе РФ. Сельскохозяйственные машины и технологии. 2013;(4):4–7. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=20171875> EDN: QZKYNL
4. Шестаков А. Г., Васильев Д. А., Терешкин А. С., Молофеева Н. И., Калдыркаев А. И. Компостирование органических отходов сельскохозяйственных животных: монография. Ульяновск: ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ, 2018. 112 с. Режим доступа: <https://lib.ugsha.ru/bitstream/123456789/2669/1/99b43218abb0c969bae9ec01534faf81.pdf>
5. Брюханов А. Ю. Обеспечение экологической безопасности животноводческих и птицеводческих предприятий (наилучшие доступные технологии). СПб.: ИАЭП, 2017. 293 с.
6. Шанина Ел. В., Шанина Ек. В. Выбросы парниковых газов от животноводства. Научно-практические аспекты развития АПК: мат-лы национальной научн. конф. Красноярск: Красноярский ГАУ, 2023. С. 35–37. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=50353626> EDN: UNLQXJ
7. Гриднев П. И., Гриднева Т. Т. Эмиссия парниковых газов и аммиака из навоза в процессе уборки и подготовки его к использованию. Техника и технологии в животноводстве. 2017;(1):25–33. DOI: <https://doi.org/10.24411/2226-4302-2017-00037> EDN: YFOBMD
8. Гриднева Т. Т. Эмиссия вредных газов при производстве животноводческой продукции. Техника и технологии в животноводстве. 2012;(4):61–69.
9. Chadwick D. R., Sommer S. G., Thorman R. E., Fanguiero D. Cardenas L., Amon B., Misselbrook T. Manure management: Implications for greenhouse gas emissions. Animal Feed Science and Technology. 2011;(166–167):514–531. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.04.036>
10. Казаровец И. Н., Зыбайло Д. В. Выделение парниковых газов при хранении навоза. Техническое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве: сб. научн. ст. Международ. научн.-практ. конф. Минск: БГАТУ, 2023. С. 410–413.
11. Guarino M., Claudio F., Brambilla M., Valli L., Navarotto P. Evaluation of simplified covering systems to reduce gaseous emissions from livestock manure storage. Transactions of the ASABE. 2006;49(3):737–747. DOI: <https://doi.org/10.13031/2013.20481>
12. Vanderzaag A. C., Gordon R., Glass V. M., Jamieson R. Floating Covers to Reduce Gas Emissions from Liquid Manure Storages: A Review. Applied Engineering in Agriculture. 2008;24(5):657–671. DOI: <https://doi.org/10.13031/2013.25273>
13. Хеллстедт М., Сипила И. Влияние пористого плавающего пластикового покрытия для хранилищ жидкого навоза на снижение эмиссии аммиака и парниковых газов. Экология и сельскохозяйственная техника: сб. тр. СПб.: СЗНИИМЭСХ РАСХН, 2009. С. 101–107.
14. Базыкин В. И. Способы снижения выбросов климатически активных газов на свинофермах. Агро-ЭкоИнженерия. 2023;(4):113–129. DOI: <https://doi.org/10.24412/2713-2641-2023-4117-113-129> EDN: KJQADE
15. Терентьев Ю. Н., Сырчина Н. В., Ашихмина Т. Я., Пилип Л. В. Снижение эмиссии запахообразующих веществ в условиях промышленных свиноводческих предприятий. Теоретическая и прикладная экология. 2019;(2):113–120. DOI: <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2019-2-113-120> EDN: BVZVXWD
16. Сырчина Н. В., Пилип Л. В. Влияние подкисления на эмиссию сероводорода в органических отходах свинокомплексов. Проблемы региональной экологии. 2021;(4):102–106. DOI: <https://doi.org/10.24412/1728-323X-2021-4-102-106> EDN: FFHLRY

17. Пилип Л. В., Козвонин В. А., Сырчина Н. В., Колеватых Е. П., Ашихмина Т. Я. Влияние подкисления навозных стоков на их микробиологические характеристики. Теоретическая и прикладная экология. 2020;(3):161–167. DOI: <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2020-3-161-167> EDN: YEQKIR
18. Савина А. И. Применение наилучших доступных технологий (НДТ) с целью уменьшения выбросов парниковых газов в животноводстве (на примере свинокомплекса "Кудряшовский"). Труды III Гранберговской конференции: сб. докл. Всеросс. конф. с международ. участием, посвящ. памяти акад. А. Г. Гранберга. Новосибирск: ИЭОПП СО РАН, 2023. С. 280–286.  
Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54958629> EDN: ULXKZA
19. Ножевникова А. Н., Миронов В. В., Бочкова Е. А., Литти Ю. В., Русскова Ю. И. Состав микробного сообщества на разных стадиях компостирования, перспектива получения компоста из муниципальных органических отходов (обзор). Прикладная биохимия и микробиология. 2019;55(3):211–221.  
DOI: <https://doi.org/10.1134/S0555109919030103> EDN: ZADBWP
20. Суховский Д. А., Шкрабак Р. В. Обеспечение нормированных условий труда в животноводстве и птицеводстве при хранении, переработке и использовании вторичного сырья. Приоритеты развития АПК в условиях цифровизации и структурных изменений национальной экономики: мат-лы междунар. научн.-практ. конф. профессорско-преподавательского состава, посвящ. 190-летию со дня рождения И. А. Стебута. СПб.: Санкт-Петербургский ГАУ, 2023. С. 183–187.  
Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54170361&pff=1> EDN: CCRGSB
21. Котов Е. Г., Кокунова И. В., Ружьев В. А. Разработка классификации технических средств для производства органических компостов. Роль молодых ученых в решении актуальных задач АПК: сб. по мат-лам междунар. научн.-практ. конф. молодых ученых. СПб-Пушкин: Санкт-Петербургский ГАУ, 2018. С. 179–182.  
Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=34914357> EDN: UOVJFE
22. Paul J., Wagner-Riddle C., Thomson A., Fleming R., MacAlpine M. Composting as a Strategy to Reduce Greenhouse Gas Emissions. Presented at: Climate Change 2 Canadian Technology Development Conference, October 3–5, 2001.
23. Sayara T, Sanches A. Gaseous Emissions from the Composting Process: Controlling Parameters and Strategies of Mitigation. Processes. 2021; 9(10):1844. DOI: <https://doi.org/10.3390/pr9101844>
24. Брюханов А. Ю., Шалавина Е. В., Вертянкина В. Ю., Романовская А. А., Васильев Э. В. Влияние технологий переработки навоза и помета на эмиссии парниковых газов. Инженерные технологии и системы. 2024;34(4):563–583. DOI: <https://doi.org/10.15507/2658-4123.034.202404.563-583> EDN: FXVRMF
25. Li L., Liu Y., Kong Y., Zhang J., Shen Y., Li G., Wang G., Yuan J. Relating Bacterial Dynamics and Functions to Greenhouse Gas and Odor Emissions during Facultative Heap Composting of Four Kinds of Livestock Manure. Journal of Environmental Management. 2023;(345):118589.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118589>
26. Уваров Р. А. Обзор технологий биоконверсии навоза КРС, наиболее адаптированных к условиям Северо-Запада России. Инновации в сельском хозяйстве. 2015;(2):273–276.  
Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23794394> EDN: UASABZ
27. Уваров Р. А. Анализ технологий переработки твердого навоза и помета, адаптированных к условиям Северо-Западного федерального округа. Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2017;(93):133–146.  
Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30782061> EDN: ZXPRYF
28. Петрунина И. В., Горбунова Н. А. Системные меры по снижению выбросов парниковых газов в животноводческих хозяйствах. Обзор. Пищевые системы. 2022;5(3):202–211.  
DOI: <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-3-202-211> EDN: ZIUPJC
29. Battini F., Agostini A., Boulamanti A. K., Giuntoli J., Amaducci S. Mitigating the environmental impacts of milk production via anaerobic digestion of manure: case study of a dairy farm in the Po Valley. Science of the Total Environment. 2014;481(1):196–208. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.02.038>
30. Ключкова Е. С., Харламова М. Д. Сокращение выбросов парниковых газов в результате применения технологии анаэробного сбраживания органических отходов на примере птицефабрики в Ленинградской области. Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2015;(3):96–104. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24307158> EDN: ULXTIX
31. Kreidenweis U., Breier J., Herrmann C., Libra J., Prochnow A. Greenhouse Gas Emissions from Broiler Manure Treatment Options Are Lowest in Well-Managed Biogas Production. Journal of Cleaner Production. 2021;280(2):124969. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124969>
32. Голубев И. Г., Масловский С. А., Гольяпин В. Я. Перспективы использования биогаза, полученного из навоза и помета в качестве топлива для дизелей сельскохозяйственной техники. Техно-технологическое обеспечение инноваций в агропромышленном комплексе: сб. ст. по мат-лам III Междунар. научн.-практ. конф. молодых ученых. Мелитополь: Мелитопольский ГУ, 2025. С. 617–621.  
Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=80543577&pff=1> EDN: CDGXWT

33. Караева Ю. В., Олейникова Е. Е., Слобожанинова М. В. Оценка выхода биогаза при анаэробной конверсии растительного сырья. *BIOAsia-Altai*. 2024;4(1):435–438.  
Режим доступа: <https://journal.asu.ru/bioasia/article/view/16469>
34. Орынбаев Н., Алдабергенов М. Новые методы переработки органических веществ для производства новой продукции из отходов. *Izdenister natigeler*. 2023;(3):152–162. DOI: <https://doi.org/10.37884/3-2023/16>
35. Масловский С. А., Голубев И. Г., Кузьмина Т. Н., Неменушая Л. А., Цыганкова К. Ю. Переработка побочной продукции животноводства на биоуголь. Современные тенденции развития науки и мирового сообщества в эпоху цифровизации (шифр – МКСТР): мат-лы XXIX междунар. научн.-практ. конф. М.: АНО ДПО Центр развития образования и науки, 2024. С. 85–89.  
Режим доступа: <https://voenvestnik.ru/PDF/29MKСТР.pdf>
36. Бабичев А. Н., Юркова Р. Е., Докучаева Л. М. Оценка возможности возделывания сельскохозяйственных культур при загрязнении почв тяжелыми металлами. *Экология и водное хозяйство*. 2022;4(4):12–26. DOI: <https://doi.org/10.31774/2658-7890-2022-4-4-12-26> EDN: HEVМKІ
37. Брындына Л. В., Свистова И. Д., Бакланова О. В. Восстановление микробиологической активности почв после гербицидного стресса. *Лесотехнический журнал*. 2022;12(2):43–55.  
DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2022.2/4> EDN: GWPGIP
38. Бучкина Н. П., Балашов Е. В., Рижия Е. Я., Павлик С. В., Horak J., Igaz D. Влияние биоугля на свойства почв и эмиссию парниковых газов: мат-лы научной сессии по итогам 2013 года Агрофизического института, Санкт-Петербург, 20–21 марта 2014 года. СПб.: Агрофизический научно-исследовательский институт РАСХН, 2014. С. 165–170.
39. Мухина И. М., Рижая Е. Я. Применение биоугля для эффективного управления эмиссией парниковых газов из почв. Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства к технологиям будущего: мат-лы II Международ. научн. конф. СПб.: Агрофизический научно-исследовательский институт РАСХН, 2019. С. 655–661.
40. Castro-Herrera D., Prost K., Kim D.-G., Yimer F., Tadesse M., Gebrehiwot M., Brüggemann N. Biochar Addition Reduces Non-CO<sub>2</sub> Greenhouse Gas Emissions during Composting of Human Excreta and Cattle Manure. *Journal of Environmental Quality*. 2023;52(4):814–828. DOI: <https://doi.org/10.1002/jeq2.20482>
41. Romero C. M., Redman A.-A. P. H., Owens J., Terry S. A., Ribeiro G. O., Gorzelak M. A. et al. Effects of Feeding a Pine-Based Biochar to Beef Cattle on Subsequent Manure Nutrients, Organic Matter Composition and Greenhouse Gas Emissions. *Science of the Total Environment*. 2022;(812):152267.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152267>
42. Гарзанов А. Л., Дорофеева О. А. Производство гранулированных органических и органоминеральных удобрений из помета и навоза – наилучшие доступные технологии их утилизации. Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2018;(95):227–235. DOI: <https://doi.org/10.24411/0131-5226-2018-10051> EDN: XRQYLВ
43. Тюрина Е., Свиридов М., Нестерова О., Сакара Н. Бизнес-модель применения биоугля сельхозпредприятиями с учетом концепции LCA (Life Cycle Assessment) и углеродного следа. Известия Дальневосточного федерального университета. Экономика и управление. 2023;104(4):106–120.  
DOI: <https://doi.org/10.24866/2311-2271/2022-4/106-120>

#### References

1. Fedorenko V. F., Buklagin D. S., Zozulya A. N., Nagornov S. A., Golubev I. G., Konovalenko L. Yu. Innovative technologies for the production of second-generation biofuels. Moscow: *FGBNU «Rosinformagrotekh»*, 2009. 68 p.
2. Sinelnikov M. By-products are not waste. *Zhivotnovodstvo Rossii*. 2023;(2):8–11. (In Russ.).  
URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=50232035>
3. Popov V. D., Maksimov D. A., Bryukhanov A. Yu. Environmental problems of agricultural production and their solution in the Northwestern Federal District of the Russian Federation. *Selskokhozyaystvennie mashini i tekhnologii = Agricultural Machinery and Technologies*. 2013;(4):4–7. (In Russ.).  
URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=20171875>
4. Shestakov A. G., Vasilev D. A., Tereshkin A. S., Molofeeva N. I., Kaldirkaev A. I. Composting of organic waste from farm animals: a monograph. Ulyanovsk: *FGBOU VO Ulyanovskiy GAU*, 2018. 112 p.  
URL: <https://lib.ugsha.ru/bitstream/123456789/2669/1/99b43218abb0c969bae9ec01534faf81.pdf>
5. Bryukhanov A. Yu. Ensuring environmental safety of livestock and poultry enterprises (the best available technologies). Saint-Petersburg: *IAEP*, 2017. 293 p.
6. Shanina El. V., Shanina Ek. V. Greenhouse gas emissions from animal husbandry. Scientific and practical aspects of agro-industrial complex development: Proceedings of the National Scientific Conference. Krasnoyarsk: *Krasnoyarsky GAU*, 2023. pp. 35–37. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=50353626>

7. Gridnev P. I., Gridneva T. T. The greenhouse gases and ammonia emission at the manure cleaning and preparing it to use process. *Tekhnika i tekhnologii v zhivotnovodstve* = Machinery and technologies in livestock. 2017;(1):25–33. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/2226-4302-2017-00037>
8. Gridneva T. T. Emissiya vrednikh gazov pri proizvodstve zhivotnovodcheskoy produktsii. *Tekhnika i tekhnologii v zhivotnovodstve* = Machinery and technologies in livestock. 2012;(4):61–69. (In Russ.).
9. Chadwick D. R., Sommer S. G., Thorman R. E., Fanguero D., Cardenas L., Amon B., Misselbrook T. Manure management: Implications for greenhouse gas emissions. *Animal Feed Science and Technology*. 2011;(166–167):514–531. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.04.036>
10. Kazarovets I. N., Zibaylo D. V. Greenhouse gas emissions during manure storage. Technical support of innovative technologies in agriculture: collection of scientific articles of the International scientific and practical conference. Minsk: *BGATU*, 2023. pp. 410–413.
11. Guarino M., Claudio F., Brambilla M., Valli L., Navarotto P. Evaluation of simplified covering systems to reduce gaseous emissions from livestock manure storage. *Transactions of the ASABE*. 2006;49(3):737–747. DOI <https://doi.org/10.13031/2013.20481>
12. Vanderzaag A. C., Gordon R., Glass V. M., Jamieson R. Floating Covers to Reduce Gas Emissions from Liquid Manure Storages: A Review. *Applied Engineering in Agriculture*. 2008;24(5):657–671. DOI: <https://doi.org/10.13031/2013.25273>
13. Khellstedt M., Sipila I. The effect of a floating cellular plastic cover for slurry storage on the emission prevention of ammonia and greenhouse gases. *Ecology and agricultural machinery: collection of articles*. Saint-Petersburg: *SZNIIMESKH RASKHN*, 2009. pp. 101–107.
14. Bazikin V. I. Ways to reduce emissions of climate-active gases on pig farms. *AgroEkoInzheneriya* = AgroEcoEngineering. 2023;(4):113–129. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24412/2713-2641-2023-4117-113-129>
15. Terentev Yu. N., Sirchina N. V., Ashikhmina T. Ya., Pilip L. V. Reducing the emission of odorous substances in industrial pig breeding enterprises. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya* = Theoretical and Applied Ecology. 2019;(2):113–120. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2019-2-113-120>
16. Sirchina N. V., Pilip L. V. The effect of acidification on the sulfide hydrogen emissions in the organic waste of pig farms. *Problemi regionalnoy ekologii* = Regional Environmental Issues. 2021;(4):102–106. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24412/1728-323X-2021-4-102-106>
17. Pilip L. V., Kozvonin V. A., Sirchina N. V., Kolevatikh E. P., Ashikhmina T. Ya. Effects of acidifying manure effluent on its microbiological characteristics. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya* = Theoretical and Applied Ecology. 2020;(3):161–167. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2020-3-161-167>
18. Savina A. I. Application of the best available technologies (bat) in order to reduce greenhouse gas emissions in animal breeding (on the example of the kudryashovsky pig farm). *Proceedings of the III Granberg Conference: collection of documents of the All-Russian Conference with international participation, dedicated to the memory of academician A. G. Granberg*. Novosibirsk: *IEOPP SO RAN*, 2023. pp. 280–286. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54958629>
19. Nozhevnikova A. N., Mironov V. V., Bochkova E. A., Litt Yu. V., Russkova Yu. I. Composition of a microbial community at different stages of composting and the prospects for compost production from municipal organic waste (review). *Prikladnaya biokhimiya i mikrobiologiya*. 2019;55(3):211–221. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.1134/S0555109919030103>
20. Sukhovskiy D. A., Shkrabak R. V. Ensuring standardized working conditions in animal husbandry and poultry farming during storage, processing and use of secondary raw materials. Priorities for the development of the agro-industrial complex in the context of digitalization and structural changes in the national economy: *Proceedings of the international scientific and practical conference of the teaching staff, dedicated to the 190th anniversary of the birth of I. A. Stebut*. Saint-Petersburg: *Sankt-Peterburgskiy GAU*, 2023. pp. 183–187. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54170361&pf=1>
21. Kotov E. G., Kokunova I. V., Ruzhev V. A. Development of a classification of technical means for the production of organic compost. The role of young scientists in solving urgent problems of the agro-industrial complex: *collection on the Proceedings of the international scientific and practical conference of young scientists*. Saint-Petersburg-Pushkin: *Sankt-Peterburgskiy GAU*, 2018. pp. 179–182. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=34914357>
22. Paul J., Wagner-Riddle C., Thomson A., Fleming R., MacAlpine M. Composting as a Strategy to Reduce Greenhouse Gas Emissions. Presented at: *Climate Change 2 Canadian Technology Development Conference*, October 3–5, 2001.
23. Sayara T, Sanches A. Gaseous Emissions from the Composting Process: Controlling Parameters and Strategies of Mitigation. *Processes*. 2021; 9(10):1844. DOI: <https://doi.org/10.3390/pr9101844>
24. Bryukhanov A. Yu., Shalavina E. V., Vertyankina V. Yu., Romanovskaya A. A., Vasilev E. V. Effect of animal and poultry manure processing technologies on greenhouse gas emissions. *Inzhenernie tekhnologii i sistemi* = Engineering Technologies and Systems. 2024;34(4):563–583. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15507/2658-4123.034.202404.563-583>

25. Li L., Liu Y., Kong Y., Zhang J., Shen Y., Li G., Wang G., Yuan J. Relating Bacterial Dynamics and Functions to Greenhouse Gas and Odor Emissions during Facultative Heap Composting of Four Kinds of Livestock Manure. *Journal of Environmental Management*. 2023;(345):118589. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118589>
26. Uvarov R. A. Survey of cattle manure bioconversion technologies most adapted to the conditions of North-West Russia. *Innovatsii v selskom khozyaystve*. 2015;(2):273–276. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23794394>
27. Uvarov R. A. Survey of solid animal and poultry manure processing technologies adapted to the North-West federal district conditions. *Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produktii rastenievodstva i zhivotnovodstva*. 2017;(93):133–146. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30782061>
28. Petrunina I. V., Gorbunova N. A. Systemic measures on reduction of greenhouse gas emissions in animal husbandry enterprises. A review. *Pishchevie sistemi = Food systems*. 2022;5(3):202–211. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-3-202-211>
29. Battini F., Agostini A., Boulamanti A. K., Giuntoli J., Amaducci S. Mitigating the environmental impacts of milk production via anaerobic digestion of manure: case study of a dairy farm in the Po Valley. *Science of the Total Environment*. 2014;481(1):196–208. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.02.038>
30. Klochkova E. S., Kharlamova M. D. Greenhouse gas emissions reduction due to anaerobic digestion technology implementation by the example of Leningrad region poultry farm. *Vestnik Rossiyskogo universiteta družbii narodov. Seriya: Ekologiya i bezopasnost zhiznedeyatelnosti = RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2015;(3):96–104. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24307158>
31. Kreidenweis U., Breier J., Herrmann C., Libra J., Prochnow A. Greenhouse Gas Emissions from Broiler Manure Treatment Options Are Lowest in Well-Managed Biogas Production. *Journal of Cleaner Production*. 2021;280(2):124969. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124969>
32. Golubev I. G., Maslovsky S. A., Golyapin V. Ya. Prospects of using biogas obtained from manure and manure as fuel for diesel engines of agricultural machinery. Technical and technological support of innovations in the agro-industrial complex: collection of articles on the Proceedings of the III International scientific-practical conference of young scientists. Melitopol: *Melitopolsky GU*, 2025. pp. 617–621. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=80543577&pff=1>
33. Karaeva Yu. V., Oleynikova E. E., Slobozhaninova M. V. Assessment of biogas yield from anaerobic conversion of plant raw materials. *BIOAsia-Altai*. 2024;4(1):435–438. (In Russ.). URL: <https://journal.asu.ru/bioasia/article/view/16469>
34. Orinbaev N., Aldabergenov M. New methods of processing organic substances to produce new products from the wastes. *Izdenister natigeler*. 2023;(3):152–162. (In Kazakhstan). DOI: <https://doi.org/10.37884/3-2023/16>
35. Maslovsky S. A., Golubev I. G., Kuzmina T. N., Nemenushchaya L. A., Tsigankova K. Yu. Processing of animal by-products into biochar. Current trends in the development of science and the global community in the era of digitalization (cipher – ICSTR): Proceedings of the XXIX International scientific and practical conference. Moscow: *ANO DPO Tsentrazvitiya obrazovaniya i nauki*, 2024. pp. 85–89. URL: <https://voenestnik.ru/PDF/29MKCTP.pdf>
36. Babichev A. N., Yurkova R. E., Dokuchaeva L. M. Capability assessment of crop growing on soils contaminated with heavy metals. *Ekologiya i vodnoe khozyaystvo*. 2022;4(4):12–26. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31774/2658-7890-2022-4-4-12-26>
37. Brindina L. V., Svistova I. D., Baklanova O. V. Restoration of soil microbiological activity after herbicide stress. *Lesotekhnicheskyy zhurnal = Forestry Engineering Journal*. 2022;12(2):43–55. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2022.2/4>
38. Buchkina N. P., Balashov E. V., Rizhiya E. Ya., Pavlik S. V., Horak J., Igaz D. The influence of biochar on soil properties and greenhouse gas emissions: Proceedings of the 2013 scientific session of the Agrophysical Institute, St. Petersburg, March 20-21, 2014. Saint-Petersburg: *Agrofizichesky nauchno-issledovatel'skiy institut RASKHN*, 2014. pp. 165–170.
39. Mukhina I. M., Rizhaya E. Ya. The use of biochar to effectively control soil greenhouse gas emissions. Trends in the development of agrophysics: from current problems of agriculture and crop production to technologies of the future: Proceedings of the II International scientific conference. Saint-Petersburg: *Agrofizichesky nauchno-issledovatel'skiy institut RASKHN*, 2019. pp. 655–661.
40. Castro-Herrera D., Prost K., Kim D.-G., Yimer F., Tadesse M., Gebrehiwot M., Brüggemann N. Biochar Addition Reduces Non-CO<sub>2</sub> Greenhouse Gas Emissions during Composting of Human Excreta and Cattle Manure. *Journal of Environmental Quality*. 2023;52(4):814–828. DOI: <https://doi.org/10.1002/jeq2.20482>
41. Romero C. M., Redman A.-A. P. H., Owens J., Terry S. A., Ribeiro G. O., Gorzelak M. A. et al. Effects of Feeding a Pine-Based Biochar to Beef Cattle on Subsequent Manure Nutrients, Organic Matter Composition and Greenhouse Gas Emissions. *Science of the Total Environment*. 2022;(812):152267. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152267>

42. Garzanov A. L., Dorofeeva O. A. Production of granulated organic and organo-mineral fertilisers from animal and poultry manure as best available techniques of their disposal. *Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produktii rastenievodstva i zhivotnovodstva*. 2018;(95):227–235. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/0131-5226-2018-10051>

43. Tyurina E., Sviridov M., Nesterova O., Sakara N. Business model of biochar application by agricultural producers: Life Cycle Assessment (LCA) and carbon footprint. *Izvestiya Dalnevostochnogo federalnogo universiteta. Ekonomika i upravlenie* = The bulletin of the Far Eastern Federal University. Economics and Management. 2023;104(4):106–120. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24866/2311-2271/2022-4/106-120>

#### *Сведения об авторах*

✉ **Масловский Сергей Александрович**, кандидат с.-х. наук, доцент, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ «Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса», д. 60, ул. Лесная, р. п. Правдинский, г. о. Пушкинский, Московская обл., Российская Федерация, 141261, e-mail: [fgnu@rosinformagrotech.ru](mailto:fgnu@rosinformagrotech.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9183-6564>, e-mail: [Smaslowskij@rambler.ru](mailto:Smaslowskij@rambler.ru)

**Голубев Иван Григорьевич**, доктор тех. наук, профессор, главный научный сотрудник, ФГБНУ «Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса», д. 60, ул. Лесная, р.п. Правдинский, г. о. Пушкинский, Московская обл., Российская Федерация, 141261, e-mail: [fgnu@rosinformagrotech.ru](mailto:fgnu@rosinformagrotech.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3754-0380>

**Цыганкова Ксения Юрьевна**, студент, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», д. 49, ул. Тимирязевская, г. Москва, Российская Федерация, 127434, e-mail: [nfo@rgau-msha.ru](mailto:nfo@rgau-msha.ru), ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-6878-900X>

#### *Information about the authors*

✉ **Sergey A. Maslovsky**, PhD in Agricultural Science, Associate Professor, Leading Researcher, Russian Research Institute of Information and Technical and Economic Studies on Engineering and Technical Provision of Agro-Industrial Complex, 60 Lesnaya Street, Pravdinsky district, Pushkinsky Urban district, Moscow Region, Russian Federation, 141261, e-mail: [fgnu@rosinformagrotech.ru](mailto:fgnu@rosinformagrotech.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9183-6564>, e-mail: [Smaslowskij@rambler.ru](mailto:Smaslowskij@rambler.ru)

**Ivan G. Golubev**, DSc in Engineering, Professor, Chief Researcher, Russian Research Institute of Information and Technical and Economic Studies on Engineering and Technical Provision of Agro-Industrial Complex, 60 Lesnaya Street, Pravdinsky district, Pushkinsky Urban district, Moscow Region, Russian Federation, 141261, e-mail: [fgnu@rosinformagrotech.ru](mailto:fgnu@rosinformagrotech.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3754-0380>

**Kseniya Yu. Tsygankova**, Student, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation, 49, Timiryazevskaya Street, Moscow, Russian Federation, 127434, e-mail: [nfo@rgau-msha.ru](mailto:nfo@rgau-msha.ru), ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-6878-900X>

✉ – Для контактов / Corresponding author