

А.Ю. Брюханов
Е.В. Шалавина ✉
Э.В. Васильев

Институт агроинженерных
и экологических проблем
сельскохозяйственного производства
(ИАЭП) — филиал ФНАЦ ВИМ,
Санкт-Петербург, Россия

✉ shalavinaev@mail.ru

Поступила в редакцию:
24.01.2024

Одобрена после рецензирования:
02.06.2024

Принята к публикации:
17.06.2024

Aleksander Yu. Briukhanov
Ekaterina V. Shalavina ✉
Eduard V. Vasiliev

Institute for Engineering and
Environmental Problems in Agricultural
Production — branch of "Federal Scientific
Agroengineering Center VIM" (IEEP —
branch of FSAC VIM), Saint Petersburg,
Russia

✉ shalavinaev@mail.ru

Received by the editorial office:
24.01.2024

Accepted in revised:
02.06.2024

Accepted for publication:
17.06.2024

Прогнозное распределение технологий переработки свиного навоза и куриного помета в РФ для принятия мер по снижению выбросов парниковых газов

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Одной из важнейших проблем последних лет являются выбросы парниковых газов. Их основной источник в аграрном секторе Российской Федерации — переработка побочных продуктов животноводства. В 2021 году выбросы составили 121 285 тыс. т CO₂-экв.

Цель исследования — установить, как распределяются технологии переработки свиного навоза и куриного помета в различных природно-климатических условиях РФ.

Методы. Были проанализированы данные обследований свиноводческих и птицеводческих комплексов, отражающие количество образующегося навоза (помета) с разбивкой по влажности и объемам размещения в хранилищах; типы систем сбора и хранения навоза (помета); соотношение их применения по федеральным округам, объединенным в три зоны с учетом природно-климатических особенностей. По результатам анализа получено базовое (по данным 2021 года) и прогнозное (на 2025 год) распределение технологий переработки свиного навоза и куриного помета. Эмиссии метана и закиси азота от систем переработки были рассчитаны для зоны 3, где наблюдались существенные отличия между базовым и прогнозным распределениями технологий. Прямой выброс закиси азота и метана в пересчете на CO₂-эквивалент в регионах этой зоны, по данным Национального кадастра, составляет 752,4 тыс. т в год; при расчете на основании обновленных данных по базовому распределению технологий (2021 г.) — 1038 тыс. т в год; при расчете на основании обновленных данных по прогнозируемому распределению технологий (2025 г.) — 1110 тыс. т в год.

Результаты. Результаты исследования показали необходимость пересмотра практики применения технологий переработки навоза (помета) для снижения выбросов парниковых газов.

Ключевые слова: парниковые газы, побочные продукты животноводства, технологии переработки, экология, свиной навоз, куриный помет

Для цитирования: Брюханов А.Ю., Шалавина Е.В., Васильев Э.В. Прогнозное распределение технологий переработки свиного навоза и куриного помета в РФ для принятия мер по снижению выбросов парниковых газов. *Аграрная наука*. 2024; 384(7): 160–165.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-384-7-160-165>

© Брюханов А.Ю., Шалавина Е.В., Васильев Э.В.

Forecast distribution of technologies for processing pig and poultry manure in the Russian Federation to take measures for GHG reduction

ABSTRACT

Relevance. Greenhouse gas emissions have been one of the most important problems in recent years. Their main source in the agricultural sector of the Russian Federation is the processing of animal by-products. In 2021, emissions amounted to 121,285 thousand tons of CO₂-eq.

The purpose of the study is to establish how the technologies for processing pig manure and chicken manure are distributed in various natural and climatic conditions of the Russian Federation.

Methods. The data of surveys of pig and poultry breeding complexes were analyzed, reflecting the amount of manure (manure) formed, broken down by humidity and storage volumes in storages; types of manure collection and storage systems; the ratio of their use in federal districts combined into three zones, taking into account natural and climatic characteristics. Based on the results of the analysis, the basic (according to the data of 2021) and forecast (for 2025) distribution of technologies for processing pig manure and chicken manure were obtained. Methane and nitrous oxide emissions from processing systems were calculated for zone 3, where there were significant differences between the baseline and forecast distributions of technologies. Direct emissions of nitrous oxide and methane in terms of CO₂ equivalent in the regions of this zone, according to the National Cadastre, amount to 752.4 thousand tons per year; when calculated based on updated data on the basic distribution of technologies (2021) — 1038 thousand tons per year; when calculated on the basis of updated data on the projected distribution of technologies (2025) — 1110 thousand tons per year.

Results. The results of the study showed the need to review the practice of using manure (manure) processing technologies to reduce greenhouse gas emissions.

Key words: greenhouse gases, animal by-products, processing technology, ecology, pig slurry, poultry manure

For citation: Briukhanov A.Yu., Shalavina E.V., Vasiliev E.V. Forecast distribution of technologies for processing pig and poultry manure in the Russian Federation to take measures for GHG reduction. *Agrarian science*. 2024; 384(7): 160–165 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-384-7-160-165>

© Briukhanov A.Yu., Shalavina E.V., Vasiliev E.V.

В Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации, утвержденной президентом России в 2016 году¹, обозначены основные ориентиры и возможности развития страны на ближайшую и долгосрочную перспективу, сформулированы большие вызовы для общества, государства и науки. В их числе потребность в обеспечении продовольственной безопасности и независимости России и конкурентоспособности отечественной продукции на мировых рынках продовольствия, снижение технологических рисков и укрепление экологической безопасности в агропромышленном комплексе.

Для реализации Стратегии формируется соответствующее законодательство; внесены поправки в закон № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды», регулирующие переход на наилучшие доступные технологии²; приняты законы № 280-ФЗ «Об органической продукции и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации»³, № 296-ФЗ «Об ограничении выбросов парниковых газов»⁴ и № 248-ФЗ «О побочных продуктах животноводства и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации»⁵.

Важнейшей проблемой последних лет являются выбросы парниковых газов [1–4]. Животноводство является основным источником метана и закиси азота [5–8]. Основные источники выбросов в атмосферу при производстве животноводческой продукции — это внутренняя ферментация животных и системы обращения с навозом и пометом [9–12].

Согласно опубликованному докладу о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом (далее — Кадастр парниковых газов), в 2021 году суммарные выбросы парниковых газов от аграрного сектора Российской Федерации составили 121 285 тыс. т CO₂-экв., что соответствует 48,3% уровня 1990 года (250 735 тыс. т CO₂-экв.)⁶. В результате интенсивного использования почв сельскохозяйственных земель в структуре выбросов от сельскохозяйственных источников в растениеводстве большая часть приходится на N₂O. От сектора «Животноводство» в европейской части Российской Федерации выделяется около 80% суммарных выбросов аммиака (NH₃).

Расчет парниковых газов осуществляется в соответствии с Методическими рекомендациями по проведению добровольной инвентаризации объема выбросов парниковых газов в субъектах Федерации⁷, которые коррелируют с Методикой Межправительственной группы экспертов по изменению климата

(МГЭИК)⁸. Основополагающими исходными данными при расчете как эмиссий N₂O, так и CH₄ в системе переработки навоза и помета являются данные о содержании азота и углерода в навозе и его влажности [13, 14]. Эти характеристики зависят от половозрастных групп животных, системы кормления и во многом от технологической переработки навоза и помета [15–17].

Цель работы — установить, как распределяются технологии переработки свиного навоза и куриного помета в различных природно-климатических условиях РФ с учетом типа получаемого на предприятии навоза и помета.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

В исследовании были проанализированы Региональные программы развития АПК в части, касающейся свиноводческих и птицеводческих комплексов. В каждой Региональной программе рассматривался целевой показатель с 2021 по 2025 год — производство скота и сельскохозяйственной птицы на убой в живом весе (тыс. т в год).

Статистические данные по показателю «производство скота и птицы на убой в живом весе (тыс. т)» с 2020 по 2021 год взяты из баз данных Росстата⁹, данные по базовому распределению технологий переработки свиного навоза и куриного помета — из литературных источников¹⁰ [18], поголовье свиней и сельскохозяйственной птицы в хозяйствах всех категорий (тыс. гол.) с 2019 по 2022 год — из базы данных Росстата¹¹.

Прогнозное поголовье свиней и сельскохозяйственной птицы с 2023 по 2025 год рассчитано на основании данных Единой межведомственной информационно-статистической системы (ЕМИСС)¹².

Полученные данные обработаны методами математической статистики в программе Excel (США).

Анализ проводился для следующих типов предприятий: сельскохозяйственные организации; крестьянско-фермерские хозяйства и индивидуальные предприниматели; хозяйства населения.

С учетом природно-климатических особенностей Российской Федерации для исследования распределения технологий переработки навоза и помета выделены три зоны: 1-я — Северо-Западный федеральный округ (СЗФО); 2-я — Приволжский федеральный округ (ПФО), Южный федеральный округ (ЮФО), Северо-Кавказский федеральный округ (СКФО), Центральный федеральный округ (ЦФО); 3-я — Уральский федеральный округ (УФО), Сибирский федеральный округ (СФО), Дальневосточный федеральный округ (ДФО).

¹ Указ Президента Российской Федерации от 01.12.2016 № 642 «О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации». — URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/41449>

² Федеральный закон «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 № 7-ФЗ. — URL: <https://docs.cntd.ru/document/901808297>

³ Федеральный закон «Об органической продукции и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 03.08.2018 № 280-ФЗ. — URL: <https://docs.cntd.ru/document/550835238>

⁴ Федеральный закон «Об ограничении выбросов парниковых газов» от 02.07.2021 № 296-ФЗ. — URL: <https://docs.cntd.ru/document/607142402>

⁵ Федеральный закон «О побочных продуктах животноводства и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 14.07.2022 № 248-ФЗ. — URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/404891791/>

⁶ Национальный доклад о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом за 1990–2021 гг. М.: Росгидромет, ФГБУ «ИГКЭ». 2023; 479.

⁷ Распоряжение Минприроды России от 16.04.2015 № 15-р «Об утверждении методических рекомендаций по проведению добровольной инвентаризации объема выбросов парниковых газов в субъектах Российской Федерации». — URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_256422/

⁸ Руководящие принципы национальных инвентаризаций парниковых газов. МГЭИК. 2006. — URL: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/russian/index.html>

⁹ Федеральная служба государственной статистики. — URL: <https://fedstat.ru/indicator/31367>

¹⁰ Кузьмина Т.Н. и др. Состояние производства технологического оборудования, рекомендуемого для эксплуатации в случае применения наилучших доступных технологий при интенсивном разведении свиней и птицы. Аналитический обзор. М.: Росинформарготех. 2023; 96. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=59331677>

¹¹ Федеральная служба государственной статистики. — URL: <https://fedstat.ru/indicator/31325>

¹² Маркетинговые исследования рынков на основании данных ЕМИСС. — URL: <https://www.sostav.ru/blogs/247016/35804>

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Для расчета эмиссии парниковых газов необходимо знать характеристики получаемого свиного навоза и куриного помета⁷, поэтому были проанализированы технологии содержания животных и сельскохозяйственной птицы на предприятиях для определения типа получаемого навоза и помета (рис. 1). Рассматривались такие параметры, как масса подстилочного материала и технологической воды, попадающих в навоз и помет.

Был проведен анализ поголовья свиней и сельскохозяйственной птицы в хозяйствах всех категорий. Результаты исследования показали, что наибольший вклад в поголовье вносят сельскохозяйственные организации, поэтому по ним более детально проанализированы данные по поголовью и массе на убой.

Сравнение расчетного значения прогнозного поголовья свиней в 2025 году и статистического поголовья в 2019 году показало, что к 2025 году:

- в зоне 1-й поголовье увеличится на 1,8% — с 1816,6 тыс. до 1848,7 тыс. голов;
- в зоне 2-й поголовье увеличится на 5,9% — с 17 287,5 тыс. до 19 879,1 тыс. голов;
- в зоне 3-й поголовье увеличится на 4% — с 4672,2 тыс. до 4857,5 тыс. голов (рис. 2).

Сравнение расчетного значения прогнозного поголовья сельскохозяйственной птицы в 2025 году и статистического поголовья в 2019 году показало, что к 2025 году:

- в зоне 1-й поголовье увеличится на 4,1% — с 47 млн до 49 млн голов;
- в зоне 2-й поголовье увеличится на 6,6% — с 217,4 млн до 219,2 млн голов;
- в зоне 3-й поголовье уменьшится на 5,7% — с 111 758,6 тыс. до 105 321,8 тыс. голов (рис. 3).

В зоне 1-й статистические показатели по мясу в живом весе на убой за 2021 год (1077,9 тыс. т) превышают целевые показатели из Региональных программ на 2021 год (983,6 тыс. т) и целевые показатели из Региональных программ на 2025 год (1036,4 тыс. т). Данный факт говорит о том, что отрасль уже нарастила требуемую мощность и что существенных изменений в технологиях переработки свиного навоза и куриного помета не планируется. По мнению авторов, развитие будет продолжаться дальше в соответствии с экологическим законодательством и наилучшими доступными технологиями (НДТ).

В зоне 2-й при увеличении поголовья свиней на 5,9%, поголовья сельскохозяйственной птицы на 6,6% с 2021 по 2025 год целевой показатель из Региональных программ на 2025 год выше, чем на 2021 год, на 7,9% (10 854,6 тыс. т в год в 2021 году, 11 716,5 тыс. т в год в 2025 году).

Статистические значения за 2021 год (11 380 тыс. т) превосходят целевые показатели на 2021 год (10 845 тыс. т) и на 2,9% превышают плановые на 2025 год (11 716,5 тыс. т).

В зоне 3-й при увеличении поголовья свиней на 4% и снижении поголовья сельскохозяйственной птицы на 5,7% с 2021 по 2025 год целевой показатель из Региональных программ на 2025 год выше, чем на 2021 год, на 3,2% (2621,3 тыс. т в год в 2021 году, 2778,7 тыс. т в год в 2025 году).

Статистические значения за 2021 год (2642,4 тыс. т) превосходят целевые показатели на 2021 год (2621,3 тыс. т) и только на 1,9% превышают целевые показатели на 2025 год (2778,7 тыс. т) (рис. 4).

Рис. 1. Типы получаемого навоза (помета)
Fig. 1. Types of generated animal and poultry manure



Рис. 2. Поголовье свиней в РФ¹³
Fig. 2. The pig stock in the Russian Federation

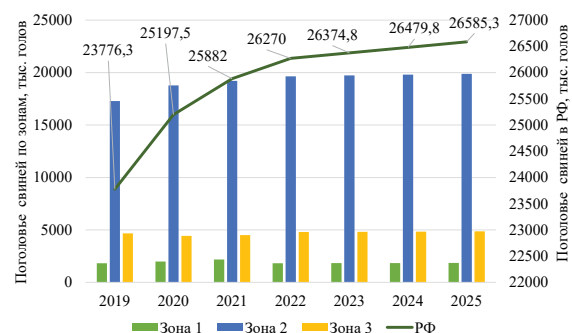


Рис. 3. Поголовье сельскохозяйственной птицы в РФ, 2019–2025¹³
Fig. 3. The poultry stock in the Russian Federation, 2019–2025

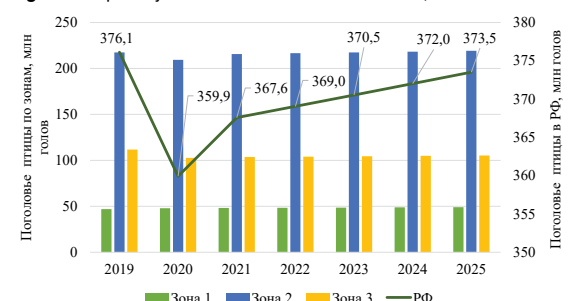
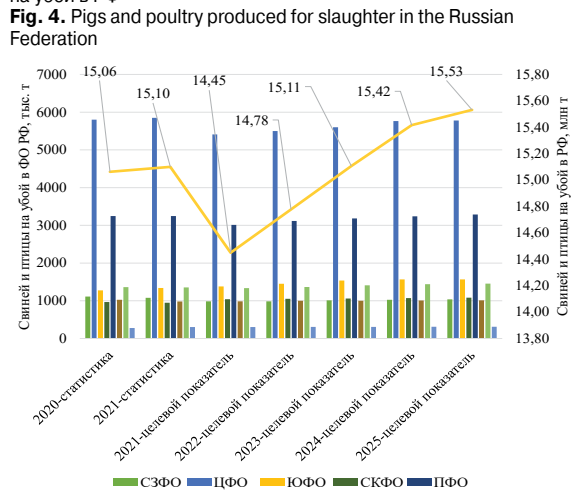


Рис. 4. Произведено свиней и сельскохозяйственной птицы на убой в РФ¹³
Fig. 4. Pigs and poultry produced for slaughter in the Russian Federation



¹³ Федеральная служба государственной статистики. — URL: <https://fedstat.ru/indicator/33915>

Для получения распределения переработанного навоза и помета по влажности были проанализированы технологии переработки, относящиеся к каждому типу навоза (помета). Для возможности использования методов расчета МГЭИК полученные результаты были соотнесены с системами хранения навоза (помета) «Сухое» и «Жидкое» из этих методик (рис. 5).

Система хранения навоза (помета) «Сухое» включает в себя следующие технологии: пассивное компостирование, сухое хранение, сушка и грануляция, хранение навалом, биоферментация, активное компостирование. Система хранения навоза «Жидкое» включает в себя следующие технологии: длительное выдерживание жидкого навоза и длительное выдерживание жидкой фракции навоза.

В зоне 1-й к 2025 году не меняется процент распределения технологий переработки свиного навоза: технология выдерживания жидкой фракции навоза — 45%, технология длительного выдерживания жидкого навоза — 36%, технология пассивного компостирования твердой фракции навоза — 19%.

В зоне 2-й к 2025 году процент применения технологии длительного выдерживания жидкой фракции свиного навоза увеличится с 23 до 28.

В зоне 3-й к 2025 году процент применения технологии длительного выдерживания свиного навоза

Рис. 6. Распределение технологий переработки свиного навоза в РФ
Fig. 6. Distribution of pig slurry processing technologies in the Russian Federation



Рис. 7. Распределение технологий переработки куриного помета в РФ
Fig. 7. Distribution of poultry manure processing technologies in the Russian Federation



Рис. 5. Схема соотнесения типа навоза к типу хранения
Fig. 5. Scheme for correlating the manure type to the storage type



увеличится с 53 до 59 за счет уменьшения доли подстильного навоза и снижения процента пассивного компостирования.

Расчет выполнен с учетом массы перерабатываемого навоза (помета) по каждой технологии переработки (рис. 6).

В зоне 1-й к 2025 году процент применения технологии пассивного компостирования куриного помета снизится с 95 до 90; доля технологии «Сухое хранение» увеличится до 9%.

В зоне 2-й к 2025 году процент применения технологии пассивного компостирования куриного помета снизится с 62 до 49; доля технологии «Сухое хранение» увеличится до 39%.

В зоне 3-й к 2025 году процент применения технологии пассивного компостирования куриного помета снизится с 74 до 64; доля технологии «Сухое хранение» увеличится до 24% (рис. 7).

С учетом прогнозных оценок обновлено соотношение основных технологий переработки свиного навоза и куриного помета (табл. 5.12 Национального доклада о кадастре¹⁴). Данные представлены в таблице 1.

Таблица 1. Соотношение основных типов систем переработки свиного навоза и куриного помета
Table 1. Relationship between the main types of pig manure and poultry manure processing systems

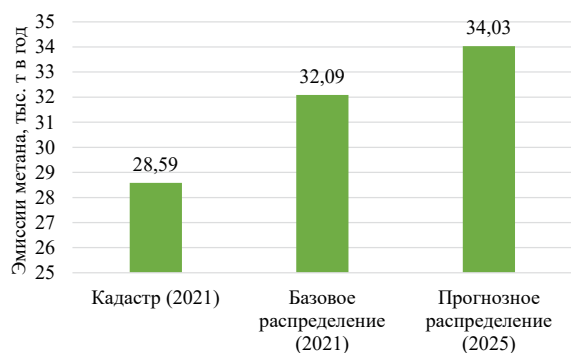
Категория животных (птицы)	Тип системы хранения навоза (помета)				
	Жидкое хранение	Сухое хранение	Пастбища и выпасы		
	Кадастр	2025 г.	Кадастр	2025 г.	Кадастр / 2025 г.
Зона 1-я — СЗФО					
Свиньи	81	81	19	19	0
Сельскохозяйственная птица	0	0	93,5	93,5	6,5
Зона 2-я — ЦФО, ПФО, ЮФО и СКФО					
Свиньи	90	89	10	11	0
Сельскохозяйственная птица	0	0	93,5	93,5	6,5
Зона 3-я — СФО, УФО и ДФО					
Свиньи	84	92	16	8	0
Сельскохозяйственная птица	0	0	93,5	93,5	6,5

¹⁴ Национальный доклад о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом за 1990–2021 гг. М.: Росгидромет, ФГБУ «ИГКЭ». 2023; 479.

¹⁵ Распоряжение Минприроды России от 30.06.2017 № 20-р «Об утверждении методических указаний по количественному определению объема поглощения парниковых газов». — URL https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_219634/?ysclid=lvxl44pg3i425790203

Рис. 8. Эмиссии метана от систем переработки свиного навоза в зоне 3-й

Fig. 8. Methane emissions from pig slurry processing systems in Zone 3



Анализ полученных результатов показывает, что при делении всех возможных вариантов технологий на системы «Сухое» и «Жидкое», согласно методике МГЭИК, существенные отличия будут наблюдаться только по свиноводству в 3-й зоне, включающей СФО, УФО и ДФО. Поэтому именно для этих регионов выполнен расчет для базового распределения технологий и прогнозного распределения технологий на 2025 год по эмиссии парниковых газов в пересчете на CO_2 -эквивалент¹⁵. Расчеты эмиссии метана от систем переработки свиного навоза показаны на рисунке 8. Расчеты эмиссии закиси азота от систем переработки свиного навоза показаны на рисунке 9.

Прямой выброс закиси азота и метана в зоне 3-й (СФО, УФО и ДФО) в пересчете на CO_2 -эквивалент, по данным кадастра, составляет 752,4 тыс. т в год при расчете на основании данных по базовому распределению технологий (2021 г.) 1038 тыс. т в год; при расчете на основании данных по прогнозному распределению технологий (2025 г.) — 1110 тыс. т в год.

Все авторы несут ответственность за работу и представленные данные. Все авторы внесли равный вклад в работу. Авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы объявили об отсутствии конфликта интересов.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

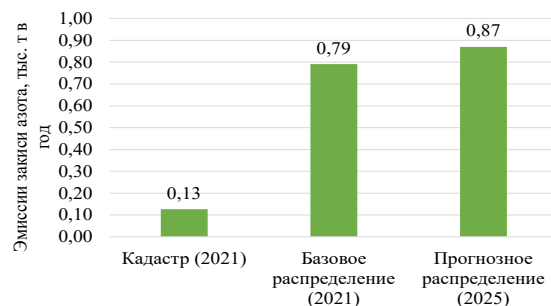
Исследование выполнено в рамках Рабочей программы ИАЭП — филиала ФГБНУ ФНАЦ ВИМ на 2023 г. FGUN-2022-0010 «Разработать экологически чистые технологии, комплексы машин и оборудование для управления сельскохозяйственными экосистемами при интенсивном и органическом производстве сельскохозяйственной продукции».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Romanovskaya A.A., Korotkov V.N., Polumieva P.D., Trunov A.A., Vertyankina V.Yu., Karaban R.T. Greenhouse gas fluxes and mitigation potential for managed lands in the Russian Federation. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*. 2020; 25(8): 661–687. <https://doi.org/10.1007/s11027-019-09885-2>
- Строков А., Депперманн А., Поташников В., Романовская А., Гавлик П. Проблемы адаптации аграрной политики России к целям устойчивого развития. *Экономическая политика*. 2020; 15(6): 140–165. <https://elibrary.ru/iakaze>
- Строков А.С. Эмиссия парниковых газов при производстве растениеводческой продукции. *Вестник Российской академии наук*. 2021; 91(3): 265–272. <https://doi.org/10.31857/S0869587321030099>
- Genstwa N., Zmysłona J. Greenhouse Gas Emissions Efficiency in Polish Agriculture. *Agriculture*. 2024; 14(1): 56. <https://doi.org/10.3390/agriculture14010056>
- Višковић M.I., Đatkov Đ.M., Nesterović A.Ž., Martinov M.L., Cvetković S.M. Manure in Serbia — quantities and greenhouse gas emissions. *Journal of Agricultural Sciences, Belgrade*. 2022; 67(1): 29–46. <https://doi.org/10.2298/JAS2201029V>
- Wu J.-P., Li M.-L., Wang Y., Lin S., Hu R.-G., Xiang R.-B. Impact of bentonite on greenhouse gas emissions during pig manure composting and its subsequent application. *Journal of Environmental Management*. 2023; 344: 118453. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118453>

Рис. 9. Эмиссии закиси азота от систем переработки свиного навоза в зоне 3-й

Fig. 9. Nitrous oxide emissions from pig slurry processing systems in Zone 3



Выводы/Conclusions

В целом в птицеводстве Российской Федерации увеличивается доля системы хранения помета «Сухое хранение» (по методике МГЭИК) — длительное выдерживание сухого помета на специализированной гидроизолированной площадке, заменяя технологию хранения «Навалом» на полевой площадке, которая запрещена Федеральным законом № 248-ФЗ.

В свиноводстве Российской Федерации идет тенденция к разделению свиного навоза на фракции, что приводит к росту объемов переработки жидкой фракции навоза методом длительного выдерживания и увеличением доли технологии пассивного компостирования. При этом снижаются объемы переработки неразделенного свиного навоза.

Результаты расчета эмиссии закиси азота и метана в пересчете на CO_2 -эквивалент показали, что расчетные значения выбросов парниковых газов в зоне 3-й превышают значения, отраженные в Национальном кадастре.

Результаты исследования показали необходимость пересмотра практики применения технологий переработки навоза (помета) для снижения выбросов парниковых газов в зоне 3-й.

All authors bear responsibility for the work and presented data. All authors made an equal contribution to the work. The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism. The authors declare no conflict of interest.

FUNDING

The study was performed within the framework of the Working Program of IEEP — branch of FSAC VIM for 2023 FGUN-2022-0010 “To develop environmentally friendly technologies, complexes of machinery and equipment for managing agricultural ecosystems in the intensive and organic agricultural production”.

REFERENCES

- Romanovskaya A.A., Korotkov V.N., Polumieva P.D., Trunov A.A., Vertyankina V.Yu., Karaban R.T. Greenhouse gas fluxes and mitigation potential for managed lands in the Russian Federation. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*. 2020; 25(8): 661–687. <https://doi.org/10.1007/s11027-019-09885-2>
- Strokov A., Deppermann A., Potashnikov V., Romanovskaya A., Havlik P. Problems of agricultural policy adaptation within sustainable development goals. *Economic Policy*. 2020; 15(6): 140–165 (in Russian). <https://elibrary.ru/iakaze>
- Strokov A.S. Greenhouse gas emissions in crop production. *Vestnik Rossiyskoy akademii nauk*. 2021; 91(3): 265–272 (in Russian). <https://doi.org/10.31857/S0869587321030099>
- Genstwa N., Zmysłona J. Greenhouse Gas Emissions Efficiency in Polish Agriculture. *Agriculture*. 2024; 14(1): 56. <https://doi.org/10.3390/agriculture14010056>
- Višковић M.I., Đatkov Đ.M., Nesterović A.Ž., Martinov M.L., Cvetković S.M. Manure in Serbia — quantities and greenhouse gas emissions. *Journal of Agricultural Sciences, Belgrade*. 2022; 67(1): 29–46. <https://doi.org/10.2298/JAS2201029V>
- Wu J.-P., Li M.-L., Wang Y., Lin S., Hu R.-G., Xiang R.-B. Impact of bentonite on greenhouse gas emissions during pig manure composting and its subsequent application. *Journal of Environmental Management*. 2023; 344: 118453. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118453>

7. 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. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124969>
8. Bao M., Cui H., Lv Y., Wang L., Ou Y., Hussain N. Greenhouse gas emission during swine manure aerobic composting: Insight from the dissolved organic matter associated microbial community succession. *Bioresource Technology*. 2023; 373: 128729. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2023.128729>
9. Zhu Z., Li L., Dong H., Wang Y. Ammonia and Greenhouse Gas Emissions of Different Types of Livestock and Poultry Manure During Storage. *Transactions of the ASABE*. 2020; 63(6): 1723–1733. <https://doi.org/10.13031/trans.14079>
10. Yang Y. *et al.* Effects of dicyandiamide, phosphogypsum and superphosphate on greenhouse gas emissions during pig manure composting. *Science of The Total Environment*. 2022; 846: 157487. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157487>
11. Wang C. *et al.* Reduction in net greenhouse gas emissions through a combination of pig manure and reduced inorganic fertilizer application in a double-rice cropping system: Three-year results. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2022; 326: 107799. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107799>
12. Parodi A., Gerrits W.J.J., Van Loon J.J.A., De Boer I.J.M., Aarnink A.J.A., Van Zanten H.H.E. Black soldier fly reared on pig manure: Bioconversion efficiencies, nutrients in the residual material, greenhouse gas and ammonia emissions. *Waste Management*. 2021; 126: 674–683. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.04.001>
13. Кузнецов Е.В., Хаджиди А.Е., Кузнецова М.Е., Звонков Н.К. Переработка отходов животноводческих предприятий. *Научные труды КубГУ*. 2019; 3: 864–873. <https://elibrary.ru/vhvnfmf>
14. Липка О.Н., Романовская А.А., Семенов С.М. Прикладные аспекты адаптации к изменениям климата в России. *Фундаментальная и прикладная климатология*. 2020; 1: 65–90. <https://doi.org/10.21513/2410-8758-2020-1-65-90>
15. Чекмарев П.А., Родионов В.Я., Лукин С.В. Опыт использования органических удобрений в Белгородской области. *Достижения науки и техники АПК*. 2011; 2: 3–4. <https://elibrary.ru/ntldwv>
16. Власов В.А., Воронов Г.Е. Некоторые теоретические и практические проблемы, возникающие при обращении с жидкими отходами продукции животноводства (часть первая). *Право и государство: теория и практика*. 2022; 3: 205–209. https://doi.org/10.47643/1815-1337_2022_3_205
17. Гузь Л.В., Петров И.Б. Об использовании отходов животноводства при осуществлении экономической деятельности. *Твердые бытовые отходы*. 2021; 1: 56–59. <https://elibrary.ru/disdvq>
18. Шалавина Е.В., Васильев Э.В., Папушин Э.А. Анализ технологий переработки отходов животноводства в различных природно-климатических условиях России. *АгроЭкоИнженерия*. 2023; 3: 110–124. <https://doi.org/10.24412/2713-2641-2023-3116-110-123>

ОБ АВТОРАХ

Александр Юрьевич Брюханов
директор, член-корреспондент РАН,
доктор технических наук
sznii@ya.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4963-3821>

Екатерина Викторовна Шалавина
старший научный сотрудник, кандидат технических наук
shalavinaev@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-7345-1510>

Эдуард Вадимович Васильев
ведущий научный сотрудник, кандидат технических наук
sznii6@ya.ru
<https://orcid.org/0000-0002-5910-5793>

Институт агроинженерных и экологических проблем
сельскохозяйственного производства — филиал Федерального научного
агроинженерного центра ВИМ,
Филитровское шоссе, 3, пос. Тярлево, Санкт-Петербург, 196634, Россия

7. 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. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124969>
8. Bao M., Cui H., Lv Y., Wang L., Ou Y., Hussain N. Greenhouse gas emission during swine manure aerobic composting: Insight from the dissolved organic matter associated microbial community succession. *Bioresource Technology*. 2023; 373: 128729. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2023.128729>
9. Zhu Z., Li L., Dong H., Wang Y. Ammonia and Greenhouse Gas Emissions of Different Types of Livestock and Poultry Manure During Storage. *Transactions of the ASABE*. 2020; 63(6): 1723–1733. <https://doi.org/10.13031/trans.14079>
10. Yang Y. *et al.* Effects of dicyandiamide, phosphogypsum and superphosphate on greenhouse gas emissions during pig manure composting. *Science of The Total Environment*. 2022; 846: 157487. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157487>
11. Wang C. *et al.* Reduction in net greenhouse gas emissions through a combination of pig manure and reduced inorganic fertilizer application in a double-rice cropping system: Three-year results. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2022; 326: 107799. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107799>
12. Parodi A., Gerrits W.J.J., Van Loon J.J.A., De Boer I.J.M., Aarnink A.J.A., Van Zanten H.H.E. Black soldier fly reared on pig manure: Bioconversion efficiencies, nutrients in the residual material, greenhouse gas and ammonia emissions. *Waste Management*. 2021; 126: 674–683. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.04.001>
13. Kuznetsov E.V., Khadzidhi A.E., Kuznetsova M.E., Zvonkov N.K. Processing of waste of animal enterprises. *Scientific Works of the Kuban State Technological University*. 2019; 3: 864–873 (in Russian). <https://elibrary.ru/vhvnfmf>
14. Lipka O.N., Romanovskaya A.A., Semenov S.M. Applied aspects of adaptation to climate change in Russia. *Fundamental and Applied Climatology*. 2020; 1: 65–90 (in Russian). <https://doi.org/10.21513/2410-8758-2020-1-65-90>
15. Chekmarev P.A., Rodionov V.Ya., Lukin S.V. Experience with organic fertilizers in Belgorod region. *Achievements of science and technology in agribusiness*. 2011; 2: 3–4 (in Russian). <https://elibrary.ru/ntldwv>
16. Vlasov V.A., Voronov G.E. Some theoretical and practical problems that arise when handling liquid waste from livestock products (Part one). *Law and State: the theory and practice*. 2022; 3: 205–209 (in Russian). https://doi.org/10.47643/1815-1337_2022_3_205
17. Guz L.V., Petrov I.B. On the use of livestock waste in economic activities. *Tverdye bytovyye otkhody*. 2021; 1: 56–59 (in Russian). <https://elibrary.ru/disdvq>
18. Shalavina E.V., Vasiliev E.V., Papushin E.A. Analysis of technologies for processing animal waste in different natural and climatic conditions of Russia. *AgroEcoEngineering*. 2023; 3: 110–124 (in Russian). <https://doi.org/10.24412/2713-2641-2023-3116-110-123>

ABOUT THE AUTHORS

Aleksandr Yuryevich Briukhanov
Director, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences,
Doctor of Technical Sciences (Engineering)
sznii@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4963-3821>

Ekaterina Viktorovna Shalavina
Senior Researcher, Candidate of Technical Sciences
shalavinaev@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-7345-1510>

Eduard Vadimovich Vasilev
Leading Researcher, Candidate of Technical Sciences
sznii6@ya.ru
<https://orcid.org/0000-0002-5910-5793>

Institute of Agroengineering and Environmental Problems of Agricultural
Production — branch of the Federal Scientific Agroengineering Center VIM,

3 Filitrovskoe highway, village Tyarlevo, St. Petersburg, 196634, Russia