

Прогнозное распределение технологий переработки навоза КРС в Российской Федерации

© 2024. А. Ю. Брюханов, Е. В. Шалавина[✉], Э. В. Васильев

Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиал ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Для расчета эмиссии метана и закиси азота в животноводстве необходимо знать характеристики получаемого навоза и систем его переработки для каждого типа хозяйств и региона в целом. Цель исследования – определить процентное соотношение технологий переработки навоза крупного рогатого скота (КРС) в различных природно-климатических условиях Российской Федерации с учетом типа образующегося на предприятии навоза для уточнения коэффициента выбросов парниковых газов. При обследовании комплексов КРС было установлено количество получаемого навоза с разбивкой по влажности и объемам размещения в хранилищах; рассчитана масса перерабатываемого навоза в соответствии с применяемыми технологиями переработки; собрана информация по типам систем сбора и хранения навоза, выявлено их соотношение по федеральным округам (более подробно – по субъектам с большим поголовьем молочного скота). Полученные соотношения позволили скорректировать коэффициент, который необходим для расчета эмиссии метана и закиси азота. Он отражает долю выделенного азота, который обрабатывается/перерабатывается в рамках определенной технологии. На основе уточненного значения коэффициента и по методике Межправительственной группы экспертов по изменению климата были рассчитаны эмиссии для коров и КРС (без коров) для Северо-Западного федерального округа (СЗФО), в котором наблюдалось наибольшее отличие между показателями из Национального кадастра и полученными в исследовании данными. В СЗФО прямой выброс закиси азота и метана в пересчете на CO₂ эквивалент по данным кадастра (2021 г.) составил 180,7 тысяч тонн в год; при расчете на основании базового распределения технологий (2021 г.) – 388,7 тысяч тонн в год; при расчете на основании прогнозного распределения технологий (2025 г.) – 375,8 тысяч тонн в год. Результаты исследования показали, что существующая тенденция по модернизации технологий переработки навоза в сторону наиболее экологических и соответствующих принципам наилучших доступных технологий ведет к снижению эмиссии парниковых газов.

Ключевые слова: эмиссии метана, эмиссии закиси азота, побочные продукты животноводства, технологии переработки, экология

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (тема № FGUN-2022-0010).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Брюханов А. Ю., Шалавина Е. В., Васильев Э. В. Прогнозное распределение технологий переработки навоза КРС в Российской Федерации. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024;25(3):507–517.

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.3.507-517>

Поступила: 07.02.2024

Принята к публикации: 17.05.2024

Опубликована онлайн: 26.06.2024

Forecast distribution of cattle manure processing technologies in the Russian Federation

© 2024. Aleksandr Yu. Briukhanov, Ekaterina V. Shalavina[✉], Eduard V. Vasilev

Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production – branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Saint Petersburg, Russian Federation

To calculate methane and nitrous oxide emissions in livestock farming requires the characteristics of produced manure and its treatment systems per a single farm and the whole region. The study aim is to specify the percentage of cattle manure processing technologies in different natural and climatic conditions of the Russian Federation and to revise the emission factor of greenhouse gases. The survey of cattle complexes established the type and amount of manure produced with a breakdown by moisture content and storage volumes. The study calculated the mass of manure processed according to the applied processing technologies. The study acquired the data on the types of manure collection and storage systems and revealed their ratio by federal districts, in more detail – in the federal subjects with bigger stock of dairy cattle. The obtained ratios allowed adjusting the coefficient required to calculate methane and nitrous oxide emissions. The coefficient reflected the share of emitted nitrogen treated or processed by a certain technology. The study calculated the emissions for cows and cattle (without cows) with the use of the adjusted coefficient and the methods of the Intergovernmental Panel on Climate Change for the Northwestern Federal District, which featured the greatest difference between the indicators from the National Inventory and the data obtained in the study. Direct nitrous oxide and methane emission in this District in terms of CO₂-eq. according to the Inventory data (2021) was 180.7 thousand t/year; when calculated by the basic distribution of technologies (2021) – 388.7 thousand t/year; when calculated by the forecast distribution of technologies (2025) – 375.8 thousand t/year. The study results demonstrated that the

current tendency to upgrading the manure processing technologies towards the most environmentally friendly and compliant with the principles of best available techniques resulted in reduction in greenhouse gas emissions.

Keywords: methane emission, nitrogen oxide emission, animal by-products, processing technology, ecology

Acknowledgements: the research was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation under the state assignment of the Federal Scientific Agroengineering Center VIM (theme No. FGUN-2022-0010).

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

Conflict of interest: the authors stated no conflict of interest.

For citations: Briukhanov A. Yu., Shalavina E. V., Vasilev E. V. Forecast distribution of cattle manure processing technologies in the Russian Federation. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2024;25(3):507–517. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.3.507-517>

Received: 07.02.2024

Accepted for publication: 17.05.2024

Published online: 26.06.2024

В соответствии с Методическими рекомендациями по проведению добровольной инвентаризации объема выбросов парниковых газов в субъектах Российской Федерации¹ основными исходными данными для расчета эмиссий являются поголовье животных N_T и показатель «доля суммарного годового выделения азота для каждого вида скота T , которая обрабатывается в рамках системы S сбора и хранения навоза в данном регионе» $MS_{(T,S)}$ (не имеет размерности). Значения указанных исходных данных являются основополагающими как при расчете эмиссий N_2O , так и при расчете эмиссий CH_4 в системе переработки навоза крупного рогатого скота (КРС).

Процентное распределение технологий переработки навоза и помета по зонам Российской Федерации является составной частью показателя $MS_{(T,S)}$. Следовательно, получив прогнозные значения данного показателя для различных природно-климатических условий Российской Федерации, возможно уточнение коэффициентов выбросов парниковых газов и повышение точности информации, подаваемой в Национальный кадастр антропогенных выбросов². Прогнозные значения определяли на основе заложенных показателей интенсификации отрасли крупного рогатого скота и базового распределения технологий [1].

В соответствии с показателями продовольственной безопасности и индикаторами их оценки, отраженными в Доктрине продовольственной безопасности Российской Федерации³, уровень самообеспечения молоком и молокопродуктами (в пересчете на молоко) должен быть не менее 90 %. Эта цифра говорит

о продолжении интенсификации отрасли молочного животноводства. Исследования учёных из разных регионов РФ подтверждают данное заключение и предлагают пути решения проблемы образования больших объемов навоза и снижения эмиссии парниковых газов. Ряд ученых отмечают необходимость комплексной переработки навоза, включающей использование полей орошения [2]; снижение стоков с преддоильных площадок, перекачивающихся совместно с жидким навозом в приемный резервуар [3]; экологическое использование получаемого органического удобрения [4, 5]. Опыт использования органического удобрения в Белгородской области показал, что превышение дозы внесения жидкого органического удобрения более 100 тонн на 1 гектар приводит к засолению почвы и превышению содержания в ней химических элементов [6]. Исследования, направленные на анализ технологических решений переработки навоза в удобрение, показали, что обоснованные режимы работы и грамотный выбор оборудования снижает потери питательных веществ, что приводит к сокращению эмиссии парниковых газов [7, 8]. Для экологичного функционирования животноводческих комплексов также необходимо на стадии проектирования учитывать объемы образуемых твердого и жидкого навоза, а также предусматривать необходимую площадь земельных угодий для внесения получаемого удобрения. При таком подходе будут решены такие экологические проблемы, как закисление почв, загрязнение грунтовых вод, загрязняющий атмосферу выброс парниковых газов [9, 10, 11].

¹Распоряжение Минприроды России от 16.04.2015 N 15-р «Об утверждении методических рекомендаций по проведению добровольной инвентаризации объема выбросов парниковых газов в субъектах Российской Федерации». [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/420278225?ysclid=lwachmmmke358876676> (дата обращения: 31.01.2024)

²Национальный 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 с. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=53434805>

³Указ президента Российской Федерации от 21 января 2020 года N 20 «Об утверждении Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации». [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/564161398> (дата обращения: 31.01.2024)

Подобные исследования также проводились и зарубежными коллегами. Ученые из Польши считают, что снижение эмиссии парниковых газов должно происходить за счет модернизации отрасли сельского хозяйства, а не за счет снижения интенсификации производства [12]. Исследования, проведенные в Сербии по мониторингу эмиссии парниковых газов от систем переработки различного типа навоза (твердый и жидкий), показали, что более 12 % всех эмиссий поступают от комплексов с переработкой жидкого навоза КРС и поголовьем более 1000 голов [13]. На эмиссии парниковых газов от навоза также влияют кормовые добавки, добавляемые в рацион [14] и плотность перерабатываемого навоза [16]. Датские ученые провели исследования эмиссии парниковых газов от 4 технологий переработки жидкого навоза. Анаэробное сбраживание показало наилучший результат, однако стоимость реализации данного технологического решения была самой высокой [17]. Исследования, проведенные в Китае по анализу эмиссии парниковых газов от твердого навоза, показали, что на величину эмиссии оказывает сильное значение содержание в навозе азота и углерода [18, 19].

Основными показателями интенсификации отрасли, отраженными в статистических данных, являются поголовье КРС в хозяйствах всех категорий⁴ и средний надой молока от одной коровы в сутки⁵.

Цель исследования – определить процентное соотношение технологий переработки навоза в различных природно-климатических условиях РФ с учетом типа получаемого на предприятии навоза для уточнения коэффициента выбросов парниковых газов.

Научная новизна – определение уточненного коэффициента $MS_{(T,S)}$ – доля навоза (помета птицы) от категории/подкатегории скота, которая обрабатывается с использованием определенной системы сбора и хранения навоза и помета в климатическом регионе. Данный коэффициент необходим при расчете эмиссии парниковых газов.

Материал и методы. В исследовании были рассмотрены Региональные программы развития АПК в части, касающейся предприятий КРС. В каждой Региональной программе анализировался целевой показатель с 2021 по 2025 год – производство молока за год (тысяч тонн).

Поголовье крупного рогатого скота в хозяйствах всех категорий (тысяч голов) за период с 2019 по 2022 год взято из баз данных Росстата⁶. Прогнозное поголовье крупного рогатого скота до 2025 года включительно рассчитано на основании данных Единой межведомственной информационно-статистической системы (ЕМИСС)⁷.

Данные по среднему надою молока от одной коровы в сутки за период с 2019 по 2022 год взяты из баз данных Росстата. Данные по среднему надою молока от одной коровы в сутки за период с 2022 по 2025 год включительно рассчитаны как отношение показателя производства молока за год (тысяч тонн) (статистические данные за 2022 г.) и целевого показателя из Программ развития АПК для каждого региона РФ (с 2022 по 2025 г.) к поголовью коров, взятого из статистических данных.

В исследовании рассматривали следующие типы предприятий: сельскохозяйственные организации; крестьянско-фермерские хозяйства и индивидуальные предприниматели; хозяйства населения.

Для исследования распределения технологий переработки навоза и помета все федеральные округа Российской Федерации объединены в три зоны с учетом природно-климатических особенностей: Северо-Западный федеральный округ (СЗФО) – Зона 1; Приволжский федеральный округ (ПФО), Южный федеральный округ (ЮФО), Северо-Кавказский федеральный округ (СКФО) и Центральный федеральный округ (ЦФО) – Зона 2; Уральский федеральный округ (УФО), Сибирский федеральный округ (СФО) и Дальневосточный федеральный округ (ДФО) – Зона 3.

⁴Федеральная служба государственной статистики. Паспорт показателя – Поголовье скота и птицы. [Электронный ресурс]. URL: <https://fedstat.ru/indicator/33915> (дата обращения: 09.02.2024)

⁵Федеральная служба государственной статистики. Паспорт показателя – Средний надой молока от одной коровы в сутки. [Электронный ресурс]. URL: <https://fedstat.ru/indicator/42331> (дата обращения: 09.02.2024)

⁶Федеральная служба государственной статистики Паспорт показателя – Поголовье скота и птицы в хозяйствах всех категорий. [Электронный ресурс]. URL: <https://fedstat.ru/indicator/31325> (дата обращения: 09.02.2024).

⁷Отрасль животноводства в России в 2022 году. Маркетинговые исследования рынков на основании данных ЕМИСС. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.sostav.ru/blogs/247016/35804> (дата обращения: 31.01.2024).

В исследовании была рассчитана масса получаемого навоза крупного рогатого скота в соответствии с РД-АПК 1.10.15.02-17*⁸. С учетом применяемых в регионе технологий произведен расчет массы навоза, перерабатываемой в соответствии с каждой технологией переработки.

Выбросы метана CH_4 рассчитаны в соответствии с Методическими рекомендациями по проведению добровольной инвентаризации объема выбросов парниковых газов в субъектах Российской Федерации⁹ по формулам:

$$CH_4 = \sum_{(T)} \frac{(EF_{(T)} \cdot N_T)}{10^6}; \quad (1)$$

$$EF_{(T)} = (VS_{(T)} \times 365) \times \left[B_{0(T)} \times 0,67 \times \sum_{S,k} \frac{MCF_{(S,k)}}{100} \times MS_{(T,S,k)} \right], \quad (2)$$

где N_T – количество голов вида/категории скота T в регионе; $VS_{(T)}$ – суточное выделение летучего твердого вещества для заданной категории T скота, кг с. в. на 1 голову в год; 365 – основа для расчета годового производства VS , сутки/год; $B_{0(T)}$ – максимальная метанопродуцирующая способность для навоза скота категории T , м³ CH_4 на кг выделенных VS ; 0,67 – коэффициент преобразования м³ CH_4 в килограммы CH_4 , кг/м³; $MCF_{(S,k)}$ – коэффициенты преобразования метана для каждой системы S сбора и хранения навоза и помета по климатическому региону k , %; $MS_{(T,S,k)}$ – доля навоза (помета птицы) от категории/подкатегории T скота, которая обрабатывается с использованием определенной системы S сбора и хранения навоза и помета в климатическом регионе k , не имеет размерности.

Прямые выбросы закиси азота $N_2O_{D(min)}$ рассчитаны в соответствии с Методическими рекомендациями по проведению добровольной инвентаризации объема выбросов парниковых газов в субъектах Российской Федерации¹⁰ по формуле:

$$N_2O_{D(mm)} = \left[\sum_S \left[\sum_T (N_{(T)} \times Nex_{(T)} \times MS_{(T,S,k)}) \right] \times EF_{3(S)} \right] \times \frac{44}{28} \quad (3)$$

где $Nex_{(T)}$ – среднегодовое выделение азота в регионе, кг N на 1 голову в год; $EF_{3(S)}$ – коэффициент для прямых выбросов N_2O от системы

уборки, хранения и использования навоза S в регионе, кг N_2O-N на кг N в системе S ; 44/28 – коэффициент преобразования выбросов (N_2O-N) (mm) в выбросы N_2O (mm).

Расчеты проведены с использованием программного пакета Microsoft Excel.

Результаты и их обсуждение. Расчет эмиссии метана и закиси азота требует знания характеристик навоза КРС, получаемого в каждой категории хозяйств. Для этого были проанализированы технологии содержания животных на разных предприятиях для определения типа получаемого навоза (рис. 1).

Был проведен анализ поголовья крупного рогатого скота в хозяйствах всех категорий. Результаты исследования показали, что в зависимости от региона Российской Федерации меняется доля поголовья по разным типам предприятий. Кроме того, существуют крестьянско-фермерские предприятия, в которых надой достигают 8000 кг на 1 голову в год и применяются интенсивные технологии содержания животных. Поэтому наряду с поголовьем животных была проанализирована продуктивность коров в каждом регионе РФ для каждого типа предприятий.

По прогнозу к 2025 году (расчетное значение) по отношению к 2019 году (статистическое значение) поголовье КРС в Зоне 1 (СЗФО) увеличится на 1,1 % – с 734,3 до 742,5 тысяч голов, в Зоне 2 (ЦФО, ЮФО, ПФО и СКФО) увеличится на 1,2 % – с 12416,2 до 12568,3 тысяч голов, в Зоне 3 (СФО, УФО и ДФО) уменьшится на 3,9 % – с 5053,3 до 4854,6 тысяч голов.

Согласно программам развития АПК планируется увеличить средние надой молока по регионам Зоны 1 на 12,8 % – с 6651,4 кг на 1 голову в год (целевой показатель 2021 г.) до 7390,1 кг на 1 голову в год (целевой показатель 2025 г.), по регионам Зоны 2 – на 10,5 % – с 4743,6 кг на 1 голову в год (целевой показатель 2021 г.) до 5242,6 кг на 1 голову в год (целевой показатель 2025 г.), по регионам Зоны 3 – на 23,5 % – с 4092,9 кг на 1 голову в год (целевой показатель 2021 г.) до 5040,1 кг на 1 голову в год (целевой показатель 2025 г.).

⁸РД-АПК 1.10.15.02-17*. Методические рекомендации по технологическому проектированию систем удаления и подготовки к использованию навоза и помета. (Раздел 5, табл. 3, стр. 21). [Электронный ресурс].

URL: <https://docs.cntd.ru/document/495876346?ysclid=lselj0eg85b20610798> (дата обращения: 31.01.2024).

⁹Методические рекомендации по проведению добровольной инвентаризации объема выбросов парниковых газов в субъектах Российской Федерации. 2015. (Ч. IV, Раздел 1.4, С. 499, 505).

URL: https://prirodnadzor.admhmao.ru/upload/iblock/747/rp-16.04.2015_-15_r.pdf

¹⁰Там же (Ч. IV, Раздел 1.5, С. 519). URL: https://prirodnadzor.admhmao.ru/upload/iblock/747/rp-16.04.2015_-15_r.pdf

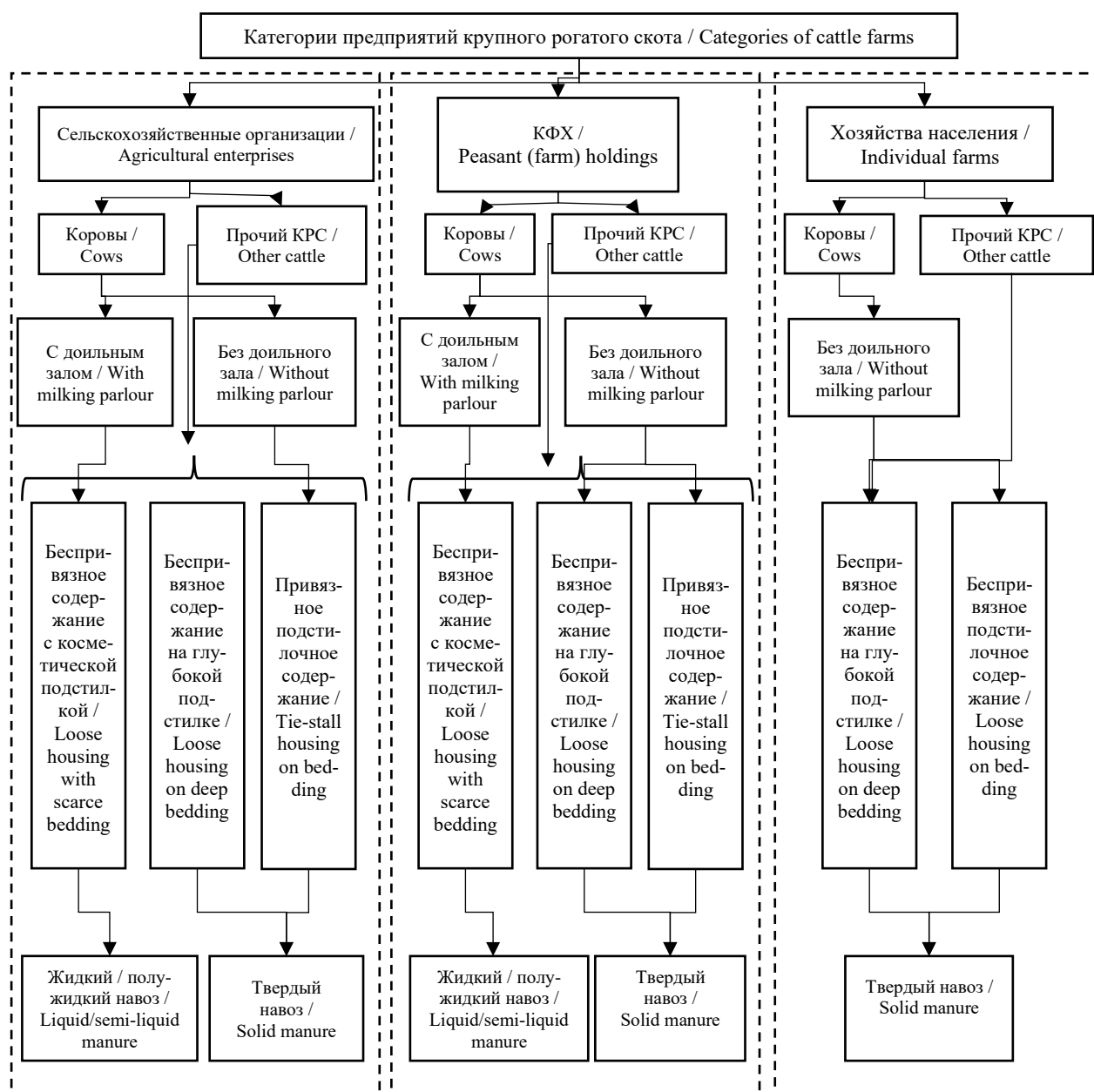


Рис. 1. Типы получаемого навоза КРС на сельскохозяйственных предприятиях разных категорий /
Fig. 1. Types of received cattle manure at agricultural enterprises of different categories

В целом во всех федеральных округах РФ при незначительном увеличении – снижении поголовья КРС продуктивность коров будет расти (в Зоне 1 – на 12,8 %, в Зоне 2 – на 10,5 %, в Зоне 3 – на 23,1 %).

В результате во всех трех зонах при незначительном увеличении поголовья КРС (до 2 % в Зонах 1 и 2) или снижении поголовья (на 3,9 % в Зоне 3) к 2025 году по целевым показателям программ АПК регионов РФ планируется дальнейшее увеличение надоев молока на 1 корову. Это говорит о продолжении интенсификации отрасли КРС – переход на беспривязное содержание животных, увеличение стоков с доильных залов и доли жидкого навоза

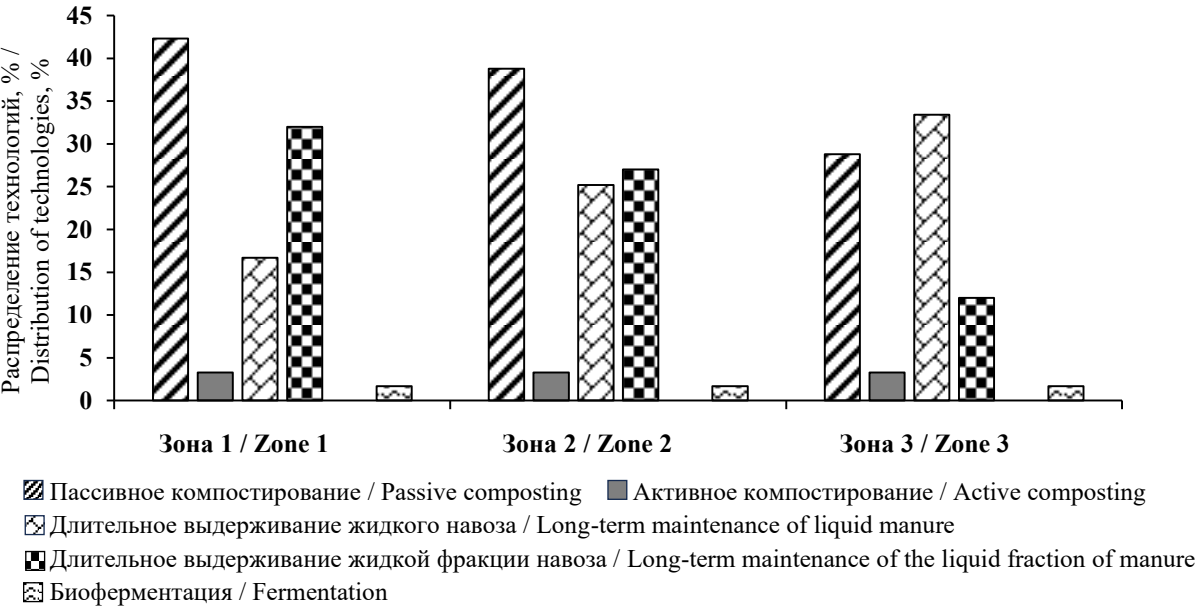
КРС. Следовательно, происходит переход на технологию разделения навоза на фракции с последующим длительным выдерживанием жидкой фракции и пассивным компостированием твердой. Эта технология с течением времени заменяет технологию «хранение навалом» полужидкого навоза КРС. Расчет проведен как для исходного навоза, так и для жидкой и твердой фракций навоза. Для возможности использования методик расчета Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) полученные результаты соотнесены с системами хранения навоза/помета «сухое» и «жидкое» (рис. 2).



*Рис. 2. Схема соотнесения типа навоза к типу хранения /
Fig. 2. Scheme for correlating the type of manure to the type of storage*

Прогнозное распределение технологий переработки навоза КРС представлено на рисунке 3.
В Зоне 1 к 2025 году процент применения технологии пассивного компостирования навоза

КРС увеличится с 25,0 до 42,3 %; процент применения технологии длительного выдерживания жидкого навоза снизится с 37,0 до 16,7 %, при этом доля технологии длительного выдерживания жидкой фракции навоза возрастет с 6 до 32 %.



*Рис. 3. Прогнозное распределение технологий переработки навоза КРС (2025 г.) /
Fig. 3. Forecast distribution of cattle manure processing technologies (2025)*

В Зоне 2 к 2025 году процент применения технологии пассивного компостирования навоза КРС увеличится с 25,0 до 38,8 %; процент применения технологии длительного выдерживания жидкого навоза снизится с 37,0 до 25,2 %, при этом возрастет доля технологии длительного выдерживания жидкой фракции навоза с 6 до 27 %.

В Зоне 3 к 2025 году процент применения технологии пассивного компостирования навоза КРС увеличится с 25,0 до 28,8 %; процент применения технологии длительного выдерживания жидкого навоза снизится с 37,0 до 33,4 %, при этом доля технологии длительного

выдерживания жидкой фракции навоза возрастет с 6 до 12 %.

Увеличение доли технологии пассивного компостирования навоза КРС в Зонах 1 и 2 и доли технологии сухого хранения в Зоне 3 объясняется уходом от технологии «хранение навалом», которая не может больше применяться по требованиям экологического законодательства – переработка навоза должна осуществляться только на гидроизолированных площадках.

С учетом прогнозных оценок обновлено соотношение основных технологий переработки навоза КРС¹¹. Данные представлены в таблице.

Таблица – Соотношение основных типов систем переработки навоза КРС по зонам /

Table – Ratio of main types of cattle manure treatment systems by zones

Категория животных / Animal category	Тип системы хранения навоза / Type of manure storage system				
	жидкое / liquid		сухое / dry		пастбища и выпасы / pastures and grazing lands
	кадастр / inventory	прогноз / forecast	кадастр / inventory	прогноз / forecast	кадастр/прогноз / inventory/forecast
Зона 1 (значения коэффициента MS_{TS}) / Zone 1 (values of MS_{TS} coefficient)					
Коровы / Cows	0	40,5	83,1	42,6	16,9
КРС (без коров) / Cattle (without cows)	8,2	36	65,8	38	26,0
Зона 2 (значения коэффициента MS_{TS}) / Zone 2 (values of MS_{TS} coefficient)					
Коровы / Cows	0	43,4	83,1	39,7	16,9
КРС (без коров) / Cattle (without cows)	8,2	38,6	65,8	35,4	26,0
Зона 3 (значения коэффициента MS_{TS}) / Zone 3 (values of MS_{TS} coefficient)					
Коровы / Cows	0	37,7	83,1	45,4	16,9
КРС (без коров) / Cattle (without cows)	8,2	33,6	65,8	40,4	26,0

В связи с интенсификацией отрасли молочного животноводства доля пастбищ и выпасов будет сокращаться, обеспечивая тем самым снижение эксплуатационных затрат.

Полученные соотношения технологий переработки навоза позволили скорректировать коэффициент $MS_{(T,S)}$, необходимый для расчета эмиссии метана и закиси азота.

На основе уточненного значения коэффициента и по методике МГЭИК выполнены расчеты эмиссий для коров и КРС (без коров).

Анализ полученных результатов показывает, что при делении всех возможных вариантов

технологий на две системы «сухое» и «жидкое», согласно методике МГЭИК, наибольшие отличия между данными Национального кадастра (2021 г.) и базовому распределению технологий (2021 г.) будут наблюдаться в Зоне 1 – Северо-Западном федеральном округе.

Поэтому именно для этого региона выполнен расчет базовой и прогнозной ситуаций по эмиссиям парниковых газов в пересчете на CO_2 -эквивалент. Результаты расчета эмиссии метана от систем переработки навоза КРС показаны на рисунке 4, результаты расчета эмиссии закиси азота – на рисунке 5.

¹¹Национальный доклад о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом за 1990-2021 гг. (раздел 5, табл. 5.12, С. 197).

URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=53434805>

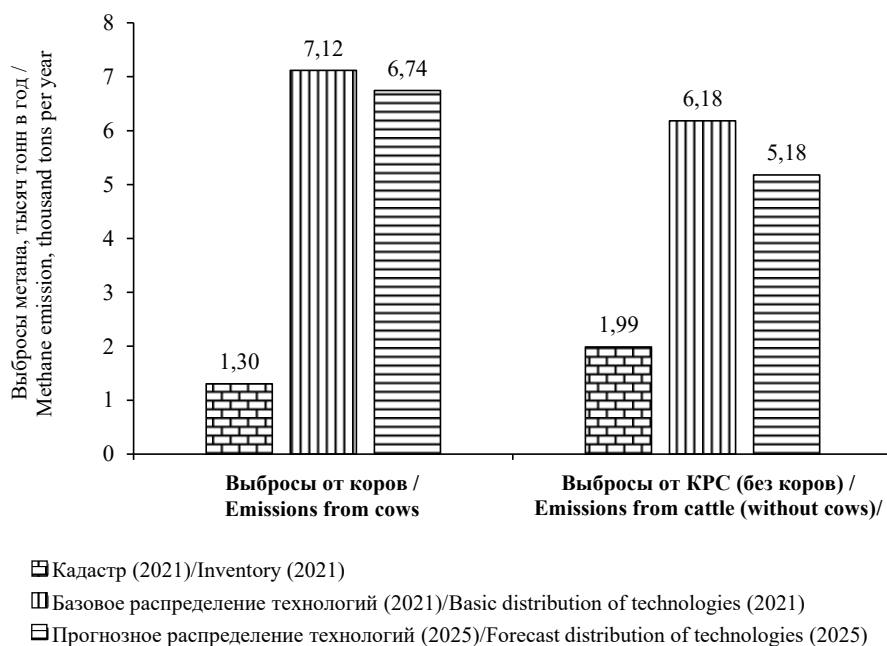


Рис. 4. Эмиссии метана от систем переработки навоза КРС в СЗФО /
Fig. 4. Methane emissions from cattle manure processing systems in North-West Federal District

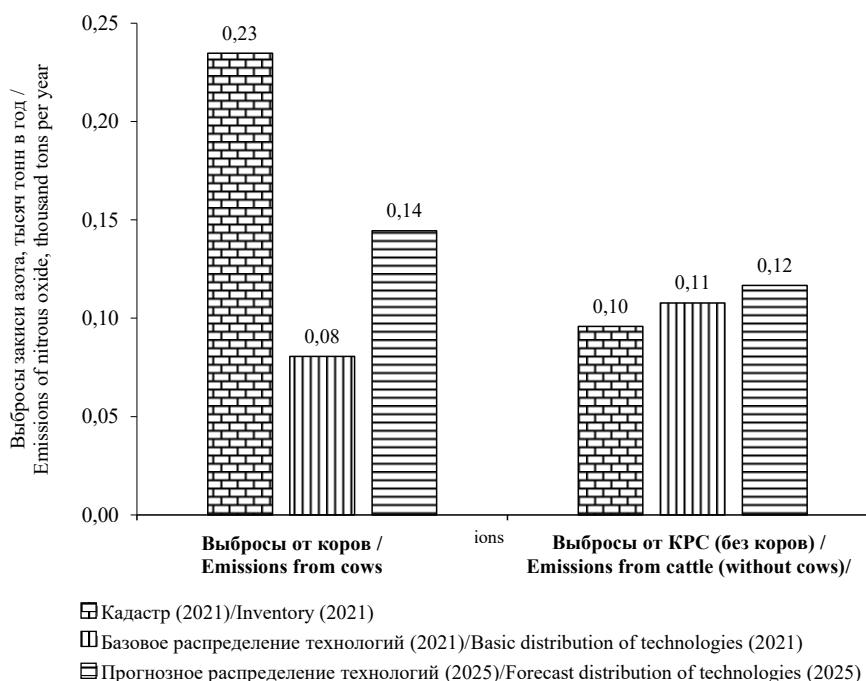


Рис. 5. Эмиссии (прямые) закиси азота от систем переработки навоза КРС в СЗФО /
Fig. 5. Nitrous oxide emissions (direct) from cattle manure processing systems in North-West Federal District

В результате расчетов для Зоны 1 установлено, что расчетные эмиссии метана от коров по данным кадастра меньше расчетных по уточненному коэффициенту $MS_{(T,S)}$ на 81 %; расчетные эмиссии метана от КРС (без коров) по данным кадастра меньше расчетных по уточненному коэффициенту $MS_{(T,S)}$ на 67 %.

В результате расчетов для Зоны 1 установлено, что расчетные эмиссии закиси азота от коров по данным кадастра больше расчетных по уточненному коэффициенту $MS_{(T,S)}$ на 65 %; расчетные эмиссии метана от КРС (без коров) по данным кадастра меньше расчетных по уточненному коэффициенту $MS_{(T,S)}$ на 9 %.

Полученные отличия объясняются тем, что по данным кадастра при переработке навоза коров доля жидкого хранения составляет 0 %, что не в полной мере соответствует фактическому распределению технологий.

При прямом выбросе в Зоне 1 закиси азота и метана в пересчете на CO₂ эквивалент по данным кадастра (2021 г.) составляет 180,7 тысяч тонн в год; при расчете на основании обновленных данных по базовому распределению технологий (2021 г.) – 388,7 тысяч тонн в год; при расчете на основании обновленных данных по прогнозируемому распределению технологий (2025 г.) – 375,8 тысяч тонн в год, то есть снижение на 12,9 тысяч тонн, или на 3,4 %.

Выводы. Обработана информация обследования комплексов крупного рогатого скота, включающая количество образующегося навоза с разбивкой по влажности и объемам размещения в хранилищах; типы систем сбора и хранения навоза и их процентное соотношение по федеральным округам (более подробно по субъектам с большим поголовьем КРС).

В целом в Российской Федерации в молочном животноводстве наблюдается тенденция к увеличению доли жидкого навоза. Это объясняется тем, что во всех трех зонах будет происходить дальнейшая интенсификация отрасли без существенного увеличения поголовья животных за счет изменения системы навозоудаления, снижающей энергоемкость процесса, и увеличения стоков с доильных залов.

С учетом полученного уточненного значения коэффициента и по методике Межправительственной группы экспертов по изменению климата выполнены расчеты эмиссий для коров и КРС (без коров) для Зоны 1, в которой наблюдали наибольшее отличие между показателями из Национального кадастра и полученными в результате исследования данными. Результаты исследования показали, что существующая тенденция по модернизации технологий переработки навоза в сторону наиболее экологических и соответствующих принципам наилучших доступных технологий ведет к снижению эмиссии парниковых газов.

Список литературы

1. Шалавина Е. В., Васильев Э. В., Папушин Э. А. Анализ технологий переработки отходов животноводства в различных природно-климатических условиях России. *АгроЭкоИнженерия*. 2023;(3(116)):110–124. DOI: <https://doi.org/10.24412/2713-2641-2023-3116-110-123> EDN: WWQDQJ
2. Кузнецов Е. В., Хаджиди А. Е., Кузнецова М. Е., Звонков Н. К. Переработка отходов животноводческих предприятий. *Научные труды КубГТУ*. 2019;(3):864–873. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38099058> EDN: VHVNMF
3. Гордеев В. В., Миронова Т. Ю., Хазанов В. Е., Гордеева Т. И., Миронов В. Н. Структурная схема управления технологическим процессом навозоудаления. *АгроЭкоИнженерия*. 2021;2(107):115–125. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46302063> EDN: GEUAAX
4. Тюрин В. Г., Лопата Ф. Ф., Потемкина Н. Н., Тарасов С. И. Органические отходы животноводства – ценный сырьевой материал. Экологические проблемы использования органических удобрений в земледелии: сб. науч. тр. Всеросс. науч.-практ. конф. с международным участием (8–10 июля 2015 г.). Владимир: ФГБНУ ВНИИОУ, 2015. С. 67–75.
5. Еськов А. И., Рябков В. В. Техническое обеспечение использования органических удобрений. *Агрохимический вестник*. 2013;(4):13–15. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21014419> EDN: RRWIEV
6. 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. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=16333639> EDN: NTLDWV
7. Брюханов А. Ю., Васильев Э. В., Шалавина Е. В., Уваров Р. А., Субботин И. А. Метод решения экологических проблем при обращении с навозом и помётом. *Молочнохозяйственный вестник*. 2017;3(27):84–96. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30275937> EDN: ZMNSXD
8. Караева Ю. В., Тимофеева С. С., Гильфанов М. Ф. Возможности применения эффлюента биогазовой установки. *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. 2020;(2(50)):68–75. DOI: <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2020-2-68-74> EDN: AATMYI
9. 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(207)):205–209. DOI: https://doi.org/10.47643/1815-1337_2022_3_205 EDN: WIDBXZ
10. Гузь В., Петров И. Б. Об использовании отходов животноводства при осуществлении экономической деятельности. *Твердые бытовые отходы*. 2021;(1(175)):56–59. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=45489050> EDN: DISDVQ
11. Дабахова Е. В., Питина И. А. Агроэкологические проблемы использования органических удобрений в сельском хозяйстве. *Агрохимический вестник*. 2017;(2):10–14. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28989377> EDN: YKJSYJ

12. Genstwa N., Zmysłona J. Greenhouse gas emissions efficiency in Polish agriculture. *Agriculture*. 2024;14(1):56. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture14010056>
13. 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*. 2022;67(1):29–46. DOI: <https://doi.org/10.2298/JAS2201029V>
14. Ortiz Balsero A. S., Zelt M., Millmier Schmidt A., Fudolig M., Miller D. N. Effect of bromoform and linseed oil on greenhouse gas emissions from stored beef manure from stored beef manure. 2022 ASABE Annual International Meeting. 2022. ASABE Paper No. 2200416. DOI: <https://doi.org/10.13031/aim.202200416>
15. Chang F., Fabian-Wheeler E., Richard T. L., Hile M. Compaction effects on greenhouse gas and ammonia emissions from solid dairy manure. *Journal of Environmental Management*. 2023;332:117399. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117399>
16. 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>
17. Meng X., Sørensen P., Møller H. B., Petersen S. O. Greenhouse gas balances and yield-scaled emissions for storage and field application of organic fertilizers derived from cattle manure. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2023;345:108327. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2022.108327>
18. Ba S., Qu Q., Zhang K., Groot J. C. J. Meta-analysis of greenhouse gas and ammonia emissions from dairy manure composting. *Biosystems Engineering*. 2020;193:126–137. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2020.02.015>
19. 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. DOI: <https://doi.org/10.13031/trans.14079>

References

1. Shalavina E. V., Vasilev E. V., Papushin E. A. Analysis of technologies for processing animal waste in different natural and climatic conditions of Russia. *AgroEkoInzheneriya* = Agricultural Engineering (Moscow). 2023;(3(116)):110–124. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24412/2713-2641-2023-3116-110-123>
2. Kuznetsov E. V., Khadzhi A. E., Kuznetsova M. E., Zvonkov N. K. Processing of waste of animal enterprises. *Nauchnye trudy KubGTU* = Scientific Works of the Kuban State Technological University. 2019;(3):864–873. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38099058>
3. Gordeev V. V., Mironova T. Yu., Khazanov V. E., Gordeeva T. I., Mironov V. N. Block diagram of manure removal control. *AgroEkoInzheneriya* = Agricultural Engineering (Moscow). 2021;2(107):115–125. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46302063>
4. Tyurin V. G., Lopata F. F., Potemkina N. N., Tarasov S. I. Organic waste from animal husbandry is a valuable raw material. Environmental problems of the use of organic fertilizers in agriculture: collection of scientific articles of the All-Russian Scientific and practical conference with international participation (July 8-10, 2015). Vladimir: FGBNU VNIIOU, 2015. pp. 67–75.
5. Eskov A. I., Ryabkov V. V. On the technical support of the use of organic fertilizers. *Agrokhimicheskii vestnik* = Agrochemical Herald. 2013;(4):13–15. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21014419>
6. Chekmarev P. A., Rodionov V. Ya., Lukin S. V. Experience with organic fertilizers in Belgorod region. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2011;(2):3–4. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=16333639>
7. Bryukhanov A. Yu., Vasilev E. V., Shalavina E. V., Uvarov R. A., Subbotin I. A. Method of environmental problem solution in manure management. *Molochnokhozyaystvennyy vestnik*. 2017;3(27):84–96. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30275937>
8. Karaeva Yu. V., Timofeeva S. S., Gilfanov M. F. Possibilities of application the effluent of biogas unit. *Vestnik Ul'yanovskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy. 2020;(2(50)):68–75. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2020-2-68-74>
9. Vlasov V. A., Voronov G. E. Some theoretical and practical problems that arise when handling liquid waste from livestock products (part one). *Pravo i gosudarstvo: teoriya i praktika* = Law and State: The Theory and Practice. 2022;(3(207)):205–209. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.47643/1815-1337_2022_3_205
10. Guz V., Petrov I. B. On the use of animal husbandry waste in the implementation of economic activities. *Tverdye bytovye otkhody* = Municipal Solid Waste. 2021;(1(175)):56–59. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=45489050>
11. Dabakhova E. V., Pitina I. A. Agroecological problems of organic fertilizers use in agriculture. *Agrokhimicheskii vestnik* = Agrochemical Herald. 2017;(2):10–14. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28989377>
12. Genstwa N., Zmysłona J. Greenhouse gas emissions efficiency in Polish agriculture. *Agriculture*. 2024;14(1):56. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture14010056>

13. Višković 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*. 2022;67(1):29–46.
DOI: <https://doi.org/10.2298/JAS2201029V>
14. Ortiz Balsero A. S., Zelt M., Millmier Schmidt A., Fudolig M., Miller D. N. Effect of bromoform and linseed oil on greenhouse gas emissions from stored beef manure from stored beef manure. 2022 ASABE Annual International Meeting. 2022. ASABE Paper No. 2200416. DOI: <https://doi.org/10.13031/aim.202200416>
15. Chang F., Fabian-Wheeler E., Richard T. L., Hile M. Compaction effects on greenhouse gas and ammonia emissions from solid dairy manure. *Journal of Environmental Management*. 2023;332:117399.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117399>
16. 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>
17. Meng X., Sørensen P., Møller H. B., Petersen S. O. Greenhouse gas balances and yield-scaled emissions for storage and field application of organic fertilizers derived from cattle manure. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2023;345:108327. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2022.108327>
18. Ba S., Qu Q., Zhang K., Groot J. C. J. Meta-analysis of greenhouse gas and ammonia emissions from dairy manure composting. *Biosystems Engineering*. 2020;193:126–137. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2020.02.015>
19. 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.
DOI: <https://doi.org/10.13031/trans.14079>

Сведения об авторах

Александр Юрьевич Брюханов, член-корреспондент РАН, доктор техн. наук, директор Института агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – ФГБНУ филиала «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», Филътровское ш. 3, пос. Тярлево, Санкт-Петербург, Российская Федерация, 196634, e-mail: sznii@ya.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4963-3821>

✉ **Екатерина Викторовна Шалавина**, кандидат техн. наук, старший научный сотрудник Отдела анализа и прогнозирования экологической устойчивости агроэкосистем Института агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиала ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», Филътровское ш. 3, пос. Тярлево, Санкт-Петербург, Российская Федерация, 196634, e-mail: sznii@ya.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7345-1510>, e-mail: shalavinaev@mail.ru

Эдуард Вадимович Васильев, кандидат техн. наук, ведущий научный сотрудник Отдела анализа и прогнозирования экологической устойчивости агроэкосистем Института агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиала ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», Филътровское ш. 3, пос. Тярлево, Санкт-Петербург, Российская Федерация, 196634, e-mail: sznii@ya.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5910-5793>

Information about the authors

Aleksandr Yu. Briukhanov, corresponding member of RAS, DSc in Engineering, Director of Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production – branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 3, Filtrovskoye Shosse, Tiarlevo, Saint Petersburg, Russian Federation, 196634, e-mail: sznii@ya.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4963-3821>

✉ **Ekaterina V. Shalavina**, PhD in Engineering, senior researcher, Department of Analysis and Forecasting of Environmental Sustainability of Agroecosystems, Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production – branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 3, Filtrovskoye Shosse, Tiarlevo, Saint Petersburg, Russian Federation, 196634, e-mail: sznii@ya.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7345-1510>, e-mail: shalavinaev@mail.ru

Eduard V. Vasilev, PhD in Engineering, leading researcher, Department of Analysis and Forecasting of Environmental Sustainability of Agroecosystems, Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production – branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 3, Filtrovskoye Shosse, Tiarlevo, Saint Petersburg, Russian Federation, 196634, e-mail: sznii@ya.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5910-5793>

✉ – Для контактов / Corresponding author