

МЕХАНИЗАЦИЯ, ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ, АВТОМАТИЗАЦИЯ / MECHANIZATION, ELECTRIFICATION, AUTOMATION

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.5.1142-1158>

УДК 631.81.095.337:631.862.1



Технологическое решение по переработке свежего навоза и помета с характеристиками полученных продуктов

© 2025. В. В. Голембовский✉, А. А. Коровин, Н. В. Сергеева

Всероссийский научно-исследовательский институт овцеводства и козоводства – филиал ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр», г. Ставрополь, Ставропольский край, Российская Федерация

Цель исследования – разработать технологию, обеспечивающую быструю, упрощенную и экологически безопасную переработку свежего навоза и помета; определить состав сепарируемых фракций. Исследования проводили в 2023–2024 гг. в Ставропольском крае. Разработана линия технологического оборудования по переработке свежего навоза и помета, которая состоит из емкости-накопителя, погружного винта-гомогенизатора, погружного насоса, пресс-отделителя, тары для твердой фракции и емкости для жидкой фракции. С одной стороны пресс-отделителя имеется электродвигатель, с другой – отверстие с крышкой на пружине для выхода твердой фракции. В результате технологического процесса твердая фракция собирается в тару, а жидкая через отводящую трубу поступает в емкость для жидкой фракции. Забор фракций осуществляли в течение первых 3 суток с момента выработки и направляли на токсикологическое и агрохимическое исследования в аттестованные лаборатории по утвержденным методикам. В результате установлено, что применение линии технологического оборудования, отличительной особенностью которой является загрузка свежего навоза в емкость-накопитель, предварительно заполненную водой в соотношении свежего навоза или помета и воды от 1,0:1,5 до 1,0:2,5 м³, позволило решить проблему устранения негативного влияния балластных инородных механических включений на износ оборудования; снизить класс опасности свежего навоза/помета до V (практически не опасные отходы); агрохимический, бактериологический и паразитологический состав жидкой и твердой фракций соответствовал требованиям ГОСТ, предъявляемым к органическим и минеральным удобрениям. Полученную жидкую фракцию можно сразу вносить в почву в качестве биоорганического удобрения, а твердую фракцию использовать как субстрат для жизнедеятельности дождевых червей или компостировать. В обоих случаях срок переработки полученной твердой фракции уменьшается до полутора – двух месяцев.

Ключевые слова: побочные продукты животноводства, технология переработки, органические удобрения, вермикомпостирование

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр» (тема № FNMU-2025-0009).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Голембовский В. В., Коровин А. А., Сергеева Н. В. Технологическое решение по переработке свежего навоза и помета с характеристиками полученных продуктов. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2025;26(5):1142–1158. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.5.1142-1158>

Поступила: 01.04.2025

Принята к публикации: 17.10.2025

Опубликована онлайн: 31.10.2025

Technological solution for processing fresh manure and droppings with characteristics of the obtained products

© 2025. Vladimir V. Golembovskii✉, Andrei A. Korovin, Natalia V. Sergeeva

All-Russian Research Institute of Sheep and Goat Breeding – branch of the North Caucasian Agrarian Center, Stavropol, Stavropol Territory, Russian Federation

The purpose of the study is to develop a technology that ensures quick, simplified, and environmentally friendly processing of fresh manure and droppings, as well as to determine the composition of the separated fractions. The research was conducted in 2023–2024 in the Stavropol Territory. There has been developed a line of technological equipment for processing fresh manure and droppings, which consists of a storage tank, a submersible homogenizer screw, a submersible pump, a press separator, a container for the solid fraction, and a container for the liquid fraction. On one side of the press separator there is an electric motor, and on the other side there is an opening with a lid on a spring for the exit of the solid fraction. As a result of the technological process, the solid fraction is collected in containers, and the liquid fraction flows through the outlet pipe

into the tank for the liquid fraction. Fractions were sampled during the first 3 days from the moment of production and sent for toxicological and agrochemical studies in certified laboratories according to approved methods. As a result, it has been established that the use of a technological equipment line, the distinctive feature of which is the loading of fresh manure into a storage tank pre-filled with water in a ratio of fresh manure or droppings and water from 1.0:1.5 to 1.0:2.5 m³, should solve the problem of eliminating the negative impact of ballast foreign mechanical inclusions on equipment wear; reduce the hazard class of fresh manure/ droppings up to V (practically non-hazardous waste); agrochemical, bacteriological and parasitological composition of liquid and solid fractions corresponded to the requirements of GOST for organic and mineral fertilizers. The obtained liquid fraction can be immediately applied to the soil as a bioorganic fertilizer, and the solid fraction can be used as a substrate for the vital activity of earthworms or composted. In both cases, the processing time of the obtained solid fraction is reduced to one and a half or two months.

Keywords: animal by-products, processing technology, organic fertilizers, vermicomposting

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 North Caucasian FNAC (theme No. FNMU-2025-0009).

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: Golembovsky V. V., Korovin A. A., Sergeeva N. V. Technological solution for processing fresh manure and droppings with characteristics of the obtained products. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2025;26(5):1142–1158. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.5.1142-1158>

Received: 01.04.2025

Accepted for publication: 17.10.2025

Published online: 31.10.2025

Обеспечение народонаселения планеты, в том числе России, достаточным количеством продуктов питания на фоне его неуклонного роста при сокращении естественных сельхозугодий возможно только при широком внедрении интенсивных технологий сельскохозяйственного производства, в том числе биотехнологий [1, 2].

Несмотря на то, что больше 50 % всего поголовья крупного и мелкого рогатого скота, лошадей, кроликов и товарной птицы в Российской Федерации содержится в фермерских хозяйствах, четко прослеживается динамика к переводу товарного производства животноводческой продукции в условия крупных специализированных агрокомплексов, что позволяет снизить издержки на содержание животных, увеличить прибыльность хозяйств в условиях постоянного роста цен на энергоресурсы, корма и кормовые добавки, логистические услуги и т. д. [3]. Вместе с тем интенсивное животноводство представляет ряд серьезных угроз для состояния окружающей среды, которые не ограничиваются только территорией животноводческого комплекса, а через живые организмы, воздух, почву, поверхностные, грунтовые и атмосферные воды влияют на экологическую безопасность региона¹ [4].

В отдельных регионах России вследствие масштабирования объектов животноводства риски загрязнения окружающей среды, обусловленные побочными продуктами животноводства (ППЖ), могут достигать 85 % по отношению к другим видам воздействия [5].

В то же время концентрация животноводческих комплексов на ограниченных территориях сопровождается низкой степенью использования органических удобрений на основе ППЖ, предназначенных для выращивания сельскохозяйственных культур, ввиду высокой стоимости их транспортировки на поля. В период 2015–2020 гг. показатель возврата массы органики на поля не превышал 30 % от забранной растениями для своего роста. Как следствие, с одной стороны, наблюдается деградация почв [6], а с другой – повышается диффузная нагрузка до 150 кг/га азота и 20 кг/га фосфора на водные объекты вблизи животноводческих комплексов [7, 8]. Резко выросло количество загрязняющих веществ на землях сельхозназначения, нередко максимально приближенных к населенным пунктам, что усиливает негативное влияние на состояние окружающей среды и здоровье населения [9].

В России суммарный объем показателей основных видов продукции растениеводства и животноводства уступает ежегодно образуемым ППЖ, объем которых оценивается в 600 млн т, порядка 80 % приходится на навоз крупного рогатого скота (КРС) [10].

Вследствие низкого уровня переработки и использования ППЖ ежегодные потери для растениеводства составляют около 2,2 млн т азота и до 0,36 млн т фосфора [11]. Кроме того, низкое использование ППЖ способствует росту выбросов парниковых газов, обостряя тем самым глобальную экологическую проблему потепления климата [12, 13].

¹Состояние мировых земельных и водных ресурсов для производства продовольствия и ведения сельского хозяйства. Системы на пределе. Сводный доклад 2021. ФАО. Италия, Рим, 2021. 99 с. [Электронный ресурс]. DOI: <https://doi.org/10.4060/cb7654ru> (дата обращения: 10.03.2025).

Анализ динамики технологических процессов в странах с развитым промышленным животноводством выявил следующие преобладающие тенденции:

- переход на бесподстилочное содержание животных, что сопровождается увеличением технологических стоков и жидкого навоза;
- разработка технологий разделения ППЖ на фракции и их раздельная утилизация;
- резко возросший интерес к технологиям, способствующим снижению эмиссии парниковых газов.

Основные требования, предъявляемые к технологиям по переработке ППЖ, – это максимальное сохранение питательных элементов и минимизация выбросов в атмосферу парниковых газов [14, 15].

С биохимической точки зрения процесс утилизации ППЖ сводится к аэробному и анаэробному окислению субстрата, а на объем эмиссии значительно влияют характер и режимы работы технологий сбора и переработки ППЖ.

В настоящее время предложено более 200 технологий переработки ППЖ. По характеру конечной продукции технологии разделены на одно-, двух- и многопродуктные [16]. Использование однопродуктных технологий нацелено на производство органических удобрений с максимальным содержанием полезных органических и минеральных веществ. Применение двухпродуктных технологий предусматривает получение органических удобрений и воды, которую в дальнейшем можно использовать для технологических нужд. Конечным продуктом многопродуктных технологий являются органические удобрения, очищенная вода, биогаз, электроэнергия, эффлюент метантенков и другие полезные продукты.

При этом не встречается информации, что в качестве полезного продукта выступает сырье для производства вермикомпоста.

В настоящее время порядка 48 % предприятий используют технологию бесподстилочного содержания животных, 21 % из которых использует технологию разделения навоза на фракции с последующей их раздельной переработкой [17].

В связи с неуклонным ужесточением природоохранного законодательства, хранение ППЖ навалом замещается длительным выдерживанием для жидких и полужидких ППЖ и пассивного компостирования на специализированных площадках для твердых ППЖ [18].

В последние десятилетия в связи с переориентацией на «зеленую энергетику» в ряде стран отмечается замещение технологий длительного выдерживания жидкого и полужидкого навоза технологиями производства биогаза путем анаэробного сбраживания ППЖ [19].

Значительно снизились объемы выделения парниковых газов при внедрении технологий сепарации ППЖ и анаэробного сбраживания за счет уменьшения длительности хранения доступных для метаногенов органических веществ [20].

Сепарация ППЖ – это процесс разделения ППЖ на фракции с использованием методов гравитационного, механического, физико-химического, фильтровального разделения. Каждое из вышеупомянутых решений отличается по стоимости и эффективности [21, 22]. В настоящее время механическая сепарация с использованием различного вида шнековых сепараторов, сит, ленточных прессов и центрифуг считается одним из наиболее эффективных способов разделения ППЖ на фракции, позволяющих получать биотопливо и органические удобрения в жидкой и твердой формах. Проблемой широкого внедрения механической сепарации ППЖ в агропроизводство являются частые поломки и быстрый износ оборудования вследствие твердых балластных инородных механических включений (камни, металл, щепа и т. д.), присутствующих в ППЖ.

Перспективным направлением утилизации ППЖ и производства органических удобрений выступает использование технологии аэробной и анаэробной биоферментации, которая представляет собой экзотермический процесс биологического окисления [23]. Использование данной технологии весьма дорогостоящее [24, 25].

Одним из направлений контроля технологического процесса аэробного окисления ППЖ является введение различных минеральных и органических добавок. Так, в результате подкисления субстрата, представляющего из себя навоз КРС, выбросы CH_4 сократились на 38 %, закиси азота (N_2O) – на 50 %, аммиака (NH_3) – на 23 %. Однако высокая стоимость подкислителя делает его малодоступным для многих фермеров [26]. Снижение выбросов CH_4 было отмечено при добавлении в ППЖ флокулянтов: сульфата и хлорида железа, хлорида полиалюминия, Superfloc C-569 и хитозана [27]. Добавление соломы, древесных опилок, биоугля и других органических наполнителей

при компостировании навоза КРС и помета выбросы CH_4 и N_2O снижало на 57 % и более [28].

В настоящее время компостирование является основным методом переработки ППЖ [29]. Однако одной из главных проблем, связанных с компостированием, является выброс парниковых газов, прежде всего CO_2 , CH_4 и N_2O . При этом условия и режимы при использовании технологии влияют на эмиссию парниковых газов. Компостирование, в целом, является четырехфазным процессом, который можно описать следующим образом [30, 31].

Мезофильная фаза – первая стадия процесса компостирования, также известная как начальная точка, в которой мезофильные бактерии размножаются в большом количестве. Наличие продукции CO_2 и H_2O является заметным в этот период. Когда легкодоступные источники углерода истощаются на протяжении мезофильной фазы и фазы созревания, начинает преобладать выработка N_2O .

Термофильная фаза – наиболее активная. В течение 2–4 дней температура внутри компостной кучи быстро повышается и может варьировать от 50 до 65 °С. Большая часть разложения органических отходов происходит во время этой фазы. Повышенная аэрация и удаление NH_3 во время термофильной стадии снижают образование N_2O . Большая часть выбросов CH_4 регистрируется во время начала термофильного процесса. Кроме того, во время этой фазы при компостировании ППЖ наблюдались значительные объемы выбросов CO_2 и NH_3 [32, 33].

Фаза остывания – известная как вторая мезофильная стадия. Если продолжительность компостирования увеличивается, выбросы N_2O во время фазы охлаждения могут превышать выбросы во время мезофильной фазы [34].

Заключительная стадия – это фаза созревания, которая может занять до 6 месяцев. Температура падает (40–50 °С) во время окончательного периода созревания, что указывает на истощение разлагаемого органического вещества в компосте и последующую эмиссию небольшого количества или отсутствия парниковых газов [35].

Погодно-климатические условия при компостировании ППЖ на открытых площадках оказывают существенное влияние на объем выбросов парниковых газов. Так, повышенное содержание влаги влияет на выбросы CH_4 и N_2O , создавая больше анаэробных карманов

CH_4 в компостной куче, что приводит к увеличению выбросов парниковых газов.

Аэрация является одним из ключевых элементов, которые отображают аэробные условия в компостировании. Непрерывная аэрация во время компостирования исключает формирование анаэробных карманов – основных источников выработки парниковых газов, прежде всего CH_4 , и попадающих в атмосферу при эпизодическом ворошении и перемешивании в большом количестве [36].

Температура является основным показателем микробной активности, влияющим на длительность процесса компостирования и зрелость собранного конечного продукта [37]. Скорость выбросов парниковых газов также достоверно зависит от температуры как в открытых, так и закрытых компостерах.

Концентрации CH_4 и NH_3 высоки в диапазоне температур 40–50 °С, тогда как N_2O появляется только при температуре ниже 40 °С.

В ранние (0–15 дней) и поздние (36–49 дней) периоды компостирования образуется 90 % эмиссии парниковых газов независимо от типа ППЖ. В первые 35 дней выбрасывается более 90 % CO_2 , а 40–75 % N_2O – в поздний период компостирования [38].

Добавление дождевых червей в субстрат способствует снижению эмиссии парниковых газов при компостировании ППЖ [39, 40].

Вермикомпостирование является относительно новым и экологически безопасным способом решения проблемы утилизации ППЖ, который включает в себя действие как дождевых червей, так и микроорганизмов, в том числе обитающих в кишечнике червей, что приводит к более быстрой скорости разложения [41, 42, 43]. Отмечено снижение выбросов N_2O и CH_4 во время вермикомпостирования по сравнению с компостированием на 40 и 32 % при высоком содержании влаги, тогда как при низком содержании влаги снижение выбросов парниковых газов составило 23 и 16 % соответственно [44]. Содержание влаги является важнейшим элементом в процессе вермикомпостирования, который влияет на выбросы CH_4 и N_2O . Экстремальное содержание влаги (как высокое, так и низкое) вызывает гибель дождевых червей в системах вермикомпостирования из-за ограничений в их дермальных дыхательных системах. Кроме того, оно может усилить выработку N_2O , способствуя одновременному процессу нитрификации и денитрификации в мезофильных условиях.

Наличие избыточного содержания влаги в отходах субстратов вызывает анаэробные условия в вермикомпостах, благоприятствуя метаногенным бактериям для выделения CH_4 [45]. Многие исследователи утверждают, что наиболее подходящий диапазон содержания влаги для вермикомпоста составляет от 70 до 90 % [46, 47].

Таким образом, ППЖ могут выступать в качестве ценного сырья для производства удобрений, внесение которых будет способствовать восстановлению плодородия почв, увеличению урожайности сельскохозяйственных культур, повышению рентабельности и конкурентоспособности сельскохозяйственных предприятий [48, 49].

Федеральным законом от 14 июля 2022 г. № 248-ФЗ «О побочных продуктах животноводства и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации»² утверждено повышение эффективности вовлечения побочных продуктов животноводства, представленных преимущественно различными видами навоза и помета, в сельскохозяйственное производство, в том числе для обеспечения воспроизводства плодородия земель сельскохозяйственного назначения.

Утилизация ППЖ с получением удобрений на основе механических, физических и химических методов показала недостаточную экономическую эффективность. Главными недостатками данных способов являются высокие энергетические затраты и техническая сложность оборудования, не позволяющие их использовать для переработки свежего навоза и помета в условиях малых и средних сельхозпредприятий. В большинстве своем они также не предусмотрены для получения экологически чистых органоминеральных удобрений и субстрата для вермикомпостирования [50].

Способы утилизации органосодержащих отходов, основанные на применении бактериологических и ферментативных препаратов, продемонстрировали хорошие результаты и показали свою перспективность в условиях

экспериментов [51], но оказались достаточно дорогостоящими и до настоящего времени не нашли широкого применения в сельхозпроизводстве. Общими недостатками данных способов является сложность приготовления компостной смеси, использование дорогостоящих микробиологических препаратов, а также значительные потери органических веществ и азота при аэробном способе компостирования [52].

Рост цен на удобрения вынуждает растениеводов возвращаться к использованию ППЖ, прошедших естественное и технологически поддерживаемое компостирование, для восстановления почвенного плодородия.

Тем не менее естественное компостирование имеет ряд существенных недостатков. Во-первых, на его осуществление требуется достаточно длительный промежуток времени, в течение которого содержание полезных органических и минеральных веществ существенно снижается. Во-вторых, потребность внесения компоста в почву может достигать десятков тонн на 1 гектар, что с учетом логистических затрат для многих сельхозпроизводителей является экономически нецелесообразным.

Наш интерес вызвали работы по утилизации таких видов побочных продуктов животноводства, как свежие навоз и помет, которые согласно Федеральному классификационному каталогу отходов, утверждённому приказом Росприроднадзора от 22.05.2017 № 242³, отнесены к III-IV классам опасности и представляют наибольшую токсическую угрозу для состояния окружающей среды. При этом отдельными исследователями указывалось, что различные виды навоза и помета, как и полученные на их основе вермикомпосты, могут быть использованы в качестве органических удобрений.

Однако нет единого мнения о возможности непосредственного использования фракций – жидкой и твердой, полученных в результате сепарации ППЖ в качестве органических удобрений, т. к. степень их токсичности не приводилась [53].

²Сводный доклад 2021. ФАО. Италия, Рим, 2021. 99 с. DOI: <https://doi.org/10.4060/cb7654ru>

³Федеральный классификационный каталог отходов, утверждённый приказом Росприроднадзора от 22.05.2017 № 242. [Электронный ресурс]. URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=488379> (дата обращения: 20.01.2025).

В отдельных работах [3, 4, 21] указывалось, что жидкая фракция непосредственно вывозилась на поля, а твердая направлялась в отвалы для утилизации путем естественного компостирования, длительностью 6–12 месяцев в зависимости от погодных-климатических условий региона.

Вместе с тем широко известны экологически чистые технологии переработки ППЖ с использованием дождевых червей – вермикотехнологии. Однако отсутствие технологически простого оборудования, позволяющего превратить побочные продукты животноводства в максимально адаптированный для жизнедеятельности червя субстрат и сырье для выработки вермикомпоста, препятствует широкому внедрению технологий вермикомпостирования.

Цель исследования – разработать технологию, обеспечивающую быструю, упрощенную и экологически безопасную переработку свежего навоза и помета; определить состав сепарируемых фракций.

Научная новизна – разработана линия технологического оборудования по модульному типу, позволяющая снизить класс опасности свежего навоза/помета до V (практически не опасные отходы), в процессе его сепарации получить жидкое органическое удобрение, пригодное для немедленного использования, и твердую фракцию, которая выступит в качестве исходного сырья для вермикомпостирования и субстрата для жизнедеятельности дождевых червей семейства Lumbricidae, в результате чего будут получены органическое удобрение – вермикомпост и биомасса червей,

пригодная в качестве белково-витаминной кормовой добавки.

Материал и методы. Исследования по теме проводили в 2023-2024 гг. во ВНИИОК – филиале ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ». Опытные-конструкторские и технологические работы осуществляли, руководствуясь ГОСТ Р 15.301-2016⁴ и Методическими рекомендациями РД-АПК 1.10.15.02-17** (с изменениями № 1, № 2) от 01.11.2024 г.⁵

Объекты исследований – линия по производству жидкой и твердой фракции навоза КРС по разработанной авторами технологии и сами фракции (рис. 1–4). Забор фракций осуществляли и направляли на токсикологическое и агрохимическое исследование в течение первых 3 суток с момента выработки. Исследования проводили в весенне-летний период непосредственно на территории животноводческой фермы. Повторность опытов трехкратная.

Токсикологический анализ вытяжек навоза и проб жидкой фракции на острое токсическое действие осуществляли в аттестованной химико-экологической лаборатории ООО «ЮЦПК Промышленная Безопасность» с использованием в качестве тест-объектов дафний *Daphnia magna Straus* (Методика выполнения измерений ФР. 1.39.2007.03222⁶ и водоросли *Scenedesmus quadricauda* (Методика выполнения измерений ФР 1.39.2007.03223⁷).

Агрохимические исследования проводили по стандартным методикам⁸, утвержденным ГОСТ и ведомственными методическими указаниями в условиях аттестованных лабораторий ФГБУ «Государственный центр

⁴ГОСТ Р 15.301-2016. Система разработки и постановки продукции на производство (СПП). Продукция производственно-технического назначения. Порядок разработки и постановки продукции на производство. М.: Стандартинформ, 2018. 15 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293750/4293750620.pdf>

⁵Методические рекомендации по технологическому проектированию систем удаления и подготовки к использованию навоза и помёта РД-АПК 1.10.15.02-17** (с изменениями № 1, № 2) от 01.11.2024 г. М., 2024. 174 с. URL: <https://mcx.gov.ru/upload/iblock/a27/f20sl5akd8o65xztg8eob1ifzf6ooahh.pdf>

⁶Методика выполнения измерений ФР 1.39.2007.03222. Биологические методы контроля. Методика определения токсичности воды и водных вытяжек из почв, осадков сточных вод, отходов по смертности и изменению плодовитости дафний. М.: Акварос, 2007. 51 с. URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/5e9/4293842234.pdf>

⁷Методика выполнения измерений ФР 1.39.2007.03223. Биологические методы контроля. Методика определения токсичности вод, водных вытяжек из почв, осадков сточных вод и отходов по изменению уровня флуоресценции хлорофилла и численности клеток водорослей. М.: Акварос, 2007. 47 с. URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/1c0/4293842245.pdf>

⁸Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельскохозяйственных и продукции растениеводства. ЦИНАО. М., 1992; Методические указания по определению мышьяка в почвах фотометрическим методом. МСХ., ЦИНАО. М., 1993.

агрохимической службы «Ставропольский» согласно требованиям ГОСТ Р 56004-2014⁹, ГОСТ 27980-88¹⁰, ГОСТ 26717-85¹¹, М-МВИ-80-2008¹², ГОСТ 27979-88¹³.

Методом биоиндикации дождевыми червями семейства Lumbricidae Eisenia fetida и Dendrobaena Veneta, согласно ГОСТ 33036-2014¹⁴, твердая фракция тестировалась на пригодность использования в качестве сырья для вермикомпостирования.

Санитарно-бактериологические и санитарно-паразитологические исследования проводили в Испытательном центре ФГБУ «Северо-Кавказская межрегиональная ветеринарная лаборатория», руководствуясь ГОСТ Р 54001-2010¹⁵, ГОСТ Р 57782-2017¹⁶, МУ 2.1.7.2657-10¹⁷, МУК 4.2.3695-21¹⁸.

Статистическую обработку данных выполняли в программах Statistica и Microsoft Excel.

Технический результат с помощью предлагаемой линии достигается путем переработки свежего навоза и помета за счет максимально упрощенного технологического процесса без дополнительных затрат труда и времени с возможностью использовать различные имеющиеся комплектующие для выполнения всех необходимых операций.

Линия переработки свежего навоза и помета состоит из емкости-накопителя 1 (рис. 1), к верхней части которой крепится погружной винт-гомогенизатор 2 с лопастями 3.

На погружном винте-гомогенизаторе 2 имеется двигатель 4, соединенный с карданом 5, который в свою очередь соединен с редуктором 6.

Лопастей 3 погружного винта-гомогенизатора 2 с наружной стороны имеют защитный кожух 7, предотвращающий механические повреждения. Кроме того, в емкости-накопителе 1 имеется погружной насос 8, имеющий рукав загрузки 9, который соединен с пресс-отделителем 10.

Пресс-отделитель 10 (рис. 2, 3) состоит из статичных внешнего корпуса 11, внутреннего перфорированного корпуса 12 и шнека 13 для отжима, установленного с возможностью вращения внутри перфорированного корпуса 12. При этом с одной стороны пресс-отделителя 10 имеется электродвигатель 14, который приводит в движение шнек 13, а с другой стороны – отверстие с крышкой на пружине 15 для выхода твердой фракции, которая попадает в специальную тару 16. Степень влажности твердой фракции можно регулировать с помощью отверстия с крышкой на пружине 15. Внешний корпус 11 имеет отводящую трубу 17, по которой жидкая фракция поступает в емкость 18.

Результаты и их обсуждение. Оборудование для переработки свежего навоза и помета работает следующим образом. Свежий навоз загружается в емкость-накопитель 1, предварительно заполненную водой в соотношении свежего навоза или помета и воды от 1,0:1,5 до 1,0:2,5 м³. В результате класс опасности снижается до V (практически не наносит вреда окружающей среде). Поэтому отпадает необходимость в дополнительной обработке путем нагревания или применения химических или биологических препаратов.

⁹ГОСТ Р 56004-2014. Удобрения органические. Вермикомпосты. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2014. 12 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293771/4293771818.pdf>

¹⁰ГОСТ 27980-88. Удобрения органические. Методы определения органического вещества. М.: изд-во стандартов, 1989. 11 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294826/4294826787.pdf>

¹¹ГОСТ 26717-85. Удобрения органические. Метод определения общего фосфора. М.: изд-во стандартов, 1985. 8 с. URL: <http://gost.gtsever.ru/Data/203/20387.pdf>

¹²М-МВИ-80-2008. Методика выполнения измерений массовой доли элементов в пробах почв, грунтов и донных отложениях методами атомно-эмиссионной и атомно-абсорбционной спектроскопии. СПб, 2008. 36 с. URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/b7c/4293824289.pdf>

¹³ГОСТ 27979-88. Удобрения органические. Метод определения pH. М.: изд-во стандартов, 1989. 7 с. URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/8b7/4294826788.pdf>

¹⁴ГОСТ 33036-2014. Методы испытаний химической продукции, представляющей опасность для окружающей среды. Определение острой токсичности для дождевых червей. М.: Стандартинформ, 2019. 8 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293766/4293766911.pdf>

¹⁵ГОСТ Р 54001-2010. Удобрения органические. Методы гельминтологического анализа. М.: Стандартинформ, 2011. 15 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293801/4293801576.pdf>

¹⁶ГОСТ Р 57782-2017. Удобрения органические. Методы паразитологического анализа. Методы определения ооцист и цист простейших. М.: Стандартинформ, 2017. 19 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293742/4293742925.pdf>

¹⁷МУ 2.1.7.2657-10. Энтомологические методы исследования почвы населенных мест на наличие преимагинальных стадий синантропных мух: методические указания. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2010. 12 с. URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/e31/4293816464.pdf>

¹⁸МУК 4.2.3695-21. Методы контроля. Биологические и микробиологические факторы. Методы микробиологического контроля почвы: методические указания. М., 2021. 28 с. URL: https://meganorm.ru/mega_doc/norm/metodicheskie-ukazaniya/0/muk_4_2_3695-21_4_2_metody_kontrolya_biologicheskie_i.html

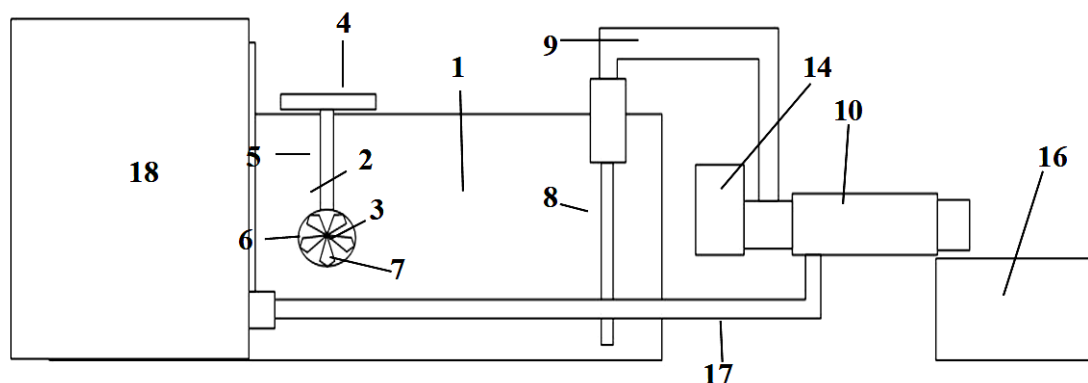


Рис. 1. Линия переработки свежего навоза и помета (вид сбоку): 1 – емкость-накопитель; 2 – погружной винт-гомогенизатор; 3 – лопасти погружного винта-гомогенизатора; 4 – двигатель; 5 – кардан; 6 – редуктор; 7 – защитный кожух; 8 – погружной насос; 9 – рукав загрузки; 10 – пресс-отделитель; 14 – электродвигатель; 16 – специальная тара для твердой фракции; 17 – отводящая труба; 18 – емкость для жидкой фракции /

Fig. 1. Fresh manure and dropping processing line (side view): 1 – storage tank; 2 – submersible homogenizer screw; 3 – blades of the submersible homogenizer screw; 4 – motor; 5 – cardan shaft; 6 – reduction gearbox; 7 – protective casing; 8 – submersible pump; 9 – loading sleeve; 10 – press separator; 14 – electric motor; 16 – special container for the solid fraction; 17 – discharge pipe; 18 – container for the liquid fraction

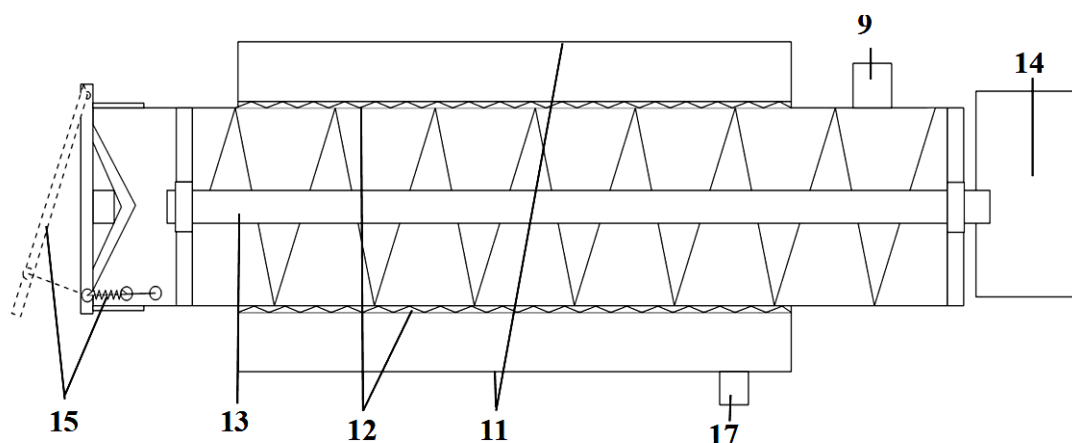


Рис. 2. Система пресс-отделителя (вид сбоку в разрезе): 9 – рукав загрузки; 11 – статичный внешний корпус; 12 – внутренний перфорированный корпус; 13 – шнек для отжима; 14 – электродвигатель; 15 – отверстие с крышкой на пружине для выхода твердой фракции; 17 – отводящая труба /

Fig. 2. Press separator system (side view in sectional view): 9 – loading sleeve; 11 – static outer casing; 12 – inner perforated casing; 13 – pressing auger; 14 – electric motor; 15 – opening with spring-loaded cover for solid fraction outlet; 17 – discharge pipe



Рис. 3. Общий вид
пресс-отделителя /
Fig. 3. General view
of the press-separator

Спустя несколько часов естественного размягчения на погружном винте-гомогенизаторе 2 (рис. 1) запускается двигатель 4, с которого передается импульс через кардан 5 на редуктор 6, приводящий в действие лопасти 3 винта-гомогенизатора 2, с наружной стороны которого имеется защитный кожух 7, предотвращающий от механических повреждений. В результате работы погружного винта-гомогенизатора 2 (рис. 1) балластные инородные механические включения с высокой удельной массой (камни, щебень, металл т. д.) оседают на дно, а с низкой удельной массой (шпагат, веревки, щепа, палки и т. д.) всплывают на поверхность. Затем с помощью погружного насоса 8 гомогенизированный навоз подается через рукав загрузки 9 в пресс-отделитель 10.

Включив электродвигатель 14, в прессе-отделителе 10 (рис. 2) гомогенизированный навоз при вращении шнека 13 движется внутри перфорированного корпуса 12, в результате чего через отверстия внутреннего перфорированного корпуса 12 отделяется жидкая фракция и попадает во внешний корпус 11, а затем через отводящую трубу 17 в емкость для жидкой фракции 18 (рис. 1). Твердая фракция, накапливаясь во внутреннем перфорированном корпусе

12 (рис. 2), выходит через отверстие с крышкой на пружине 15, с помощью которой можно регулировать степень отжатия твердой фракции. После отжатия твердая фракция собирается в сменную тару 16 (рис. 1).

В результате использования линии оборудования рН жидкой фракции составил 7,2, твердой – 6,9.

Нативные пробы вытяжек свежего навоза и жидкой фракции оказывали острое токсическое действие на тест-объекты *Daphnia magna Straus* и *Scenedesmus quadricauda*. Однако разведение проб водой в соотношении 1,0:1,5 для *Daphnia magna Straus* и 1,0:1,6 – для *Scenedesmus quadricauda* при продолжительности наблюдения 96 и 72 ч соответственно демонстрировало безвредную кратность разбавления пробы (БКР10-96/БКР20-72), вызывающую гибель не более 10 % тест-организмов *Daphnia magna Straus* по сравнению с контролем за 96 ч ($1 < \text{БКР10-96} < 100$) и не более 20 % водорослей *Scenedesmus quadricauda* по сравнению с контролем за 72 ч ($1 < \text{БКР20-72} < 100$).

Массовая доля органического вещества, сухого вещества и основных питательных веществ и микроэлементов в твердой фракции превысили таковые в жидкой фракции (рис. 4–6).

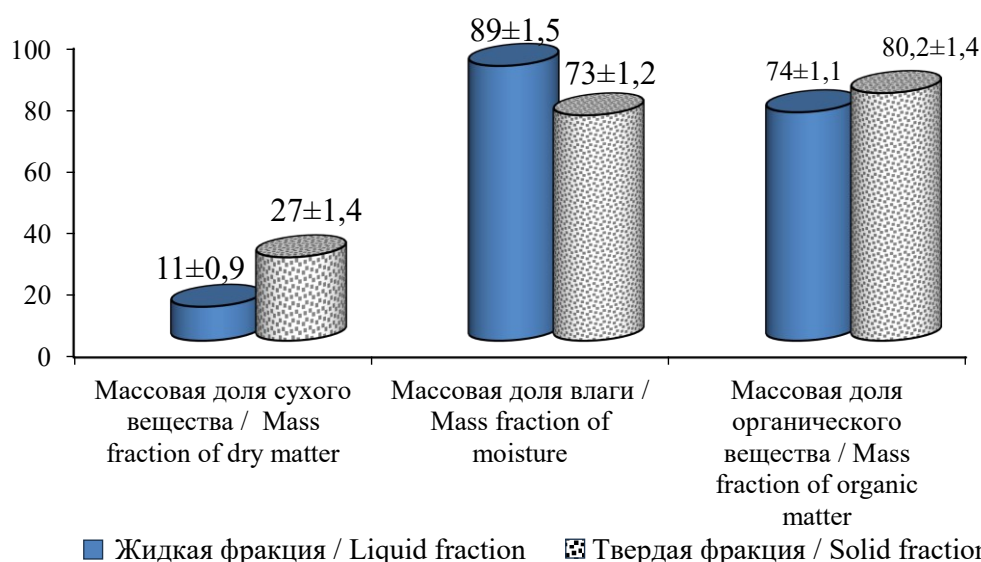


Рис. 4. Содержание органического вещества, влаги и сухого вещества в сепарированных фракциях, % /
Fig. 4. Organic matter, moisture and dry matter content in separated fractions, %

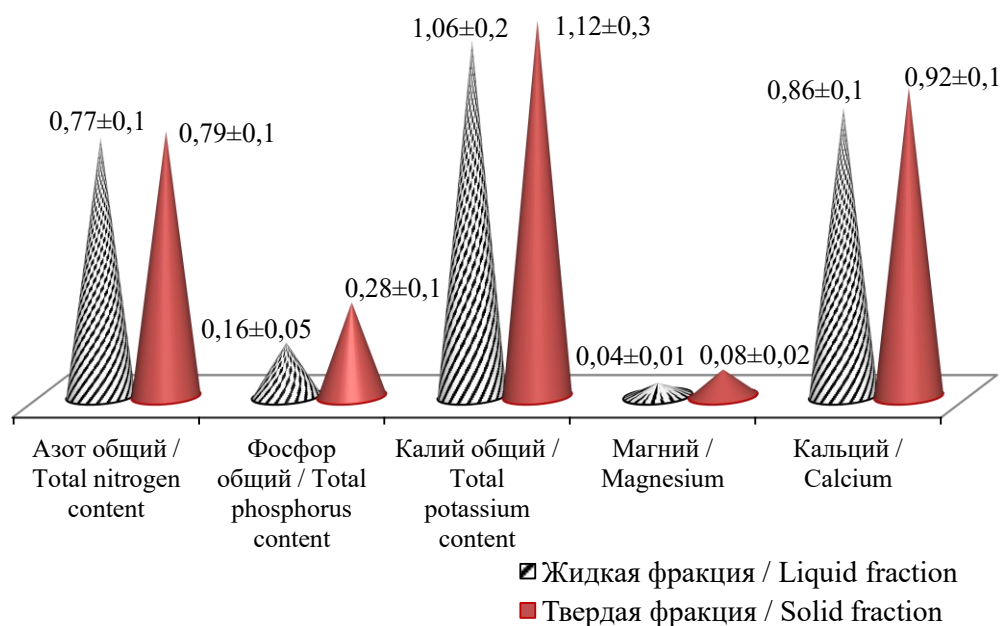


Рис. 5. Содержание основных питательных веществ и микроэлементов в сепарированных фракциях, % /
Fig. 5. Content of main nutrients and trace elements in separated fractions, %

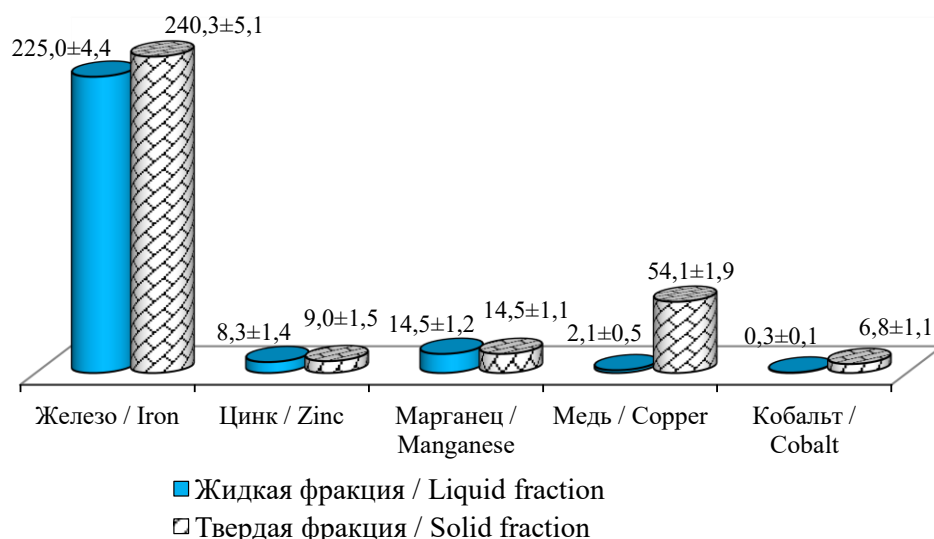


Рис. 6. Содержание микроэлементов в сепарированных фракциях, мг/кг /
Fig. 6. Content of trace elements in separated fractions, mg/kg

Содержание свинца и мышьяка в твердой фракции было ниже, а кадмия – выше такового в сравнении с жидкой фракцией (рис. 7).

Содержание ртути, бенз(а)пирена, гексахлорциклогексана (гексахлорана), дихлордифенилтрихлорэтана и его метаболитов составляет менее 0,005 мг/кг.

Для обеих фракций удельная эффективная активность естественных радионуклидов составляет 23,1 Бк/кг, а удельная эффективная активность техногенных радионуклидов (ACs/45 + ASr/30) – 0,01 отн. ед. Кроме того, выделенные фракции не содержали механи-

ческих включений в отличие от нативного навоза, доставленного непосредственно с фермы.

При исследовании бактериологического и паразитологического составов жидкой и твердой фракций личинки и куколки синантропных мух, патогенные и болезнетворные микроорганизмы, жизнеспособные яйца и личинки гельминтов, цисты кишечных патогенных простейших не обнаружены. Индекс БГКП (колиформы и энтеробактерии) составил соответственно в жидкой фракции 6 и 4 КОЕ/г, в твердой – 2 и 2 КОЕ/г.

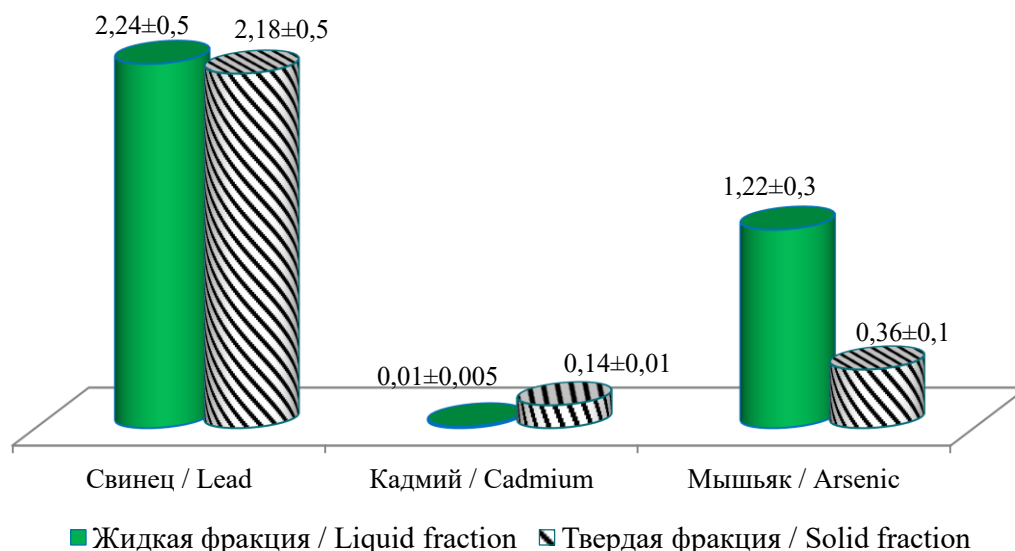


Рис. 7. Содержание примесей отдельных токсичных элементов в сепарированных фракциях мг/кг /
Fig. 7. Impurity content of individual toxic elements in separated fractions, mg/kg

Агрохимические, санитарно-бактериологические и токсикологические исследования подтверждают соответствие ГОСТ 33830-2016¹⁹, ГОСТ Р 53117-2008²⁰ и ГОСТ Р 56004-2014²¹ органических удобрений, следовательно, жидкая фракция пригодна для внесения в почву, а твердая фракция может быть использована в качестве субстрата для дождевых червей или компостирования. В обоих случаях срок переработки полученной твердой фракции уменьшается до полутора – двух месяцев.

Таким образом, разработанная линия технологического оборудования по переработке свежего навоза и помета способна резко сократить выбросы в атмосферу парниковых газов, т. к. оказывает прямое воздействие на биохимический, микробиологический и временной процессы, тем самым исключает из газообразования основные эмиссионные фазы компостирования: мезофильную, термофильную и охлаждения, а передача твердой фракции для последующего вермикомпостирования исключает фазу созревания.

Заключение. В результате проведенных агрохимических исследований установлено незначительное превышение в твердой фракции в сравнении с жидкой содержания азота общего ($0,79 \pm 0,1$ и $0,77 \pm 0,1$ % соответственно), калия общего ($1,12 \pm 0,3$ и $1,06 \pm 0,2$ %), кальция ($0,92 \pm 0,1$ и $0,86 \pm 0,1$ %), железа ($240,3 \pm 5,1$ и

$225,0 \pm 4,4$ мг/кг), цинка ($9,0 \pm 1,5$ и $8,3 \pm 1,4$ мг/кг), марганца ($14,5 \pm 1,1$ и $14,5 \pm 1,2$ мг/кг).

В то же время превышение в твердой фракции в сравнении с жидкой содержания фосфора общего ($0,28 \pm 0,1$ и $0,16 \pm 0,05$ % соответственно), магния ($0,08 \pm 0,02$ и $0,04 \pm 0,01$ %), меди ($54,1 \pm 1,9$ и $2,1 \pm 0,5$ мг/кг) и кобальта ($6,8 \pm 1,1$ и $0,3 \pm 0,1$ мг/кг) было значительным.

Линия переработки свежего навоза и помета проста, не требует использования специальной техники и оборудования.

Предварительное разбавление свежего навоза или помета водой в соотношении от 1,0:1,5 до 1,0:2,5 м³ позволило решить проблему устранения негативного влияния балластных инородных механических включений на износ оборудования, а также снизить класс опасности свежего навоза/помета до V (практически не опасные отходы).

Предлагаемая линия переработки свежего навоза/помета позволяет интенсивно перерабатывать и утилизировать ППЖ, оказывающие негативное воздействие на состояние окружающей среды, не имевшие ранее должного полезного практического применения, и получать экологически чистые органоминеральные удобрения, соответствующие требованиям ГОСТ (органические удобрения), сбалансированные по макро- и микроэлементам питания для растений.

¹⁹ГОСТ 33830-2016. Удобрения органические на основе отходов животноводства. Технические условия.

М.: Стандартинформ, 2016. 15 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293752/4293752081.pdf>

²⁰ГОСТ Р 53117-2008. Удобрения органические на основе отходов животноводства. Технические условия.

М.: Стандартинформ, 2009. 15 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293828/4293828711.pdf>

²¹URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293771/4293771818.pdf>

Данную линию переработки свежего навоза/помета можно использовать как круглогодично, так и сезонно. Кроме того, можно использовать любые комплектующие (емкости, погружные винты-гомогенизаторы, насосы, прессы или сепараторы) в зависимости от объемов перерабатываемого сырья и финансовых возможностей предприятия.

Линия переработки свежего навоза/помета позволяет существенно ускорить процесс естественного компостирования навоза и помета, снизить объем выбросов парниковых газов в атмосферу, получить экологически чистые комплексные органоминеральные удобрения, необходимые для восстановления плодородия почв и урожайности сельскохозяйственных культур.

Список литературы

1. Ветчинников Д. В. Экономически эффективные стратегии переработки отходов АПК на основе внедрения инноваций. Вестник Московского финансово-юридического университета МФЮА. 2022;(3):216–230. DOI: https://doi.org/10.52210/2224669X_2022_3_216 EDN: IAUJ TZ
2. Bychkova E., Rozhdestvenskaya L., Podgorbunskikh E., Kudachyova P. The problems and prospects of developing food products from high-protein raw materials. Food Bioscience. 2023;56:103286. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.103286>
3. Шалавина Е. В., Васильев Э. В., Уваров Р. А. Методы экологически безопасного использования навоза и помета фермерскими хозяйствами в Ленинградской области. АгроЭкоИнженерия. 2021;(3(108)):128–140. DOI: <https://doi.org/10.24412/2713-2641-2021-3108-128-140> EDN: FHQNAX
4. Ковалёв Н. Г., Гриднев П. И., Гриднева Т. Т. Научное обеспечение развития экологически безопасных систем утилизации навоза. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2016;(1(50)):62–69. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25476143> EDN: VLMWAN
5. Брюханов А. Ю., Васильев Э. В., Шалавина Е. В. Научно-техническое обеспечение для решения задач федерального закона № 248 о побочных продуктах животноводства. Научно-информационное обеспечение инновационного развития АПК: сб. мат.-лов. XV Междунар. науч.-практ. конф. М.: Росинформагротех, 2023. С. 55–61. Режим доступа: <https://elibrary.ru/fwuczi> EDN: FWUCZI
6. Поздняков Ш. Р., Брюханов А. Ю., Кондратьев С. А., Игнатъева Н. В., Шмакова М. В., Минакова Е. А. и др. Перспективы сокращения выноса биогенных элементов с речных водосборов за счет внедрения наилучших доступных технологий сельскохозяйственного производства (по результатам моделирования). Водные ресурсы. 2020;47(5):588–602. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0321059620050168> EDN: XSXZUZ
7. Кондратьев С. А., Ершова А. А., Экхольм П., Викторова Н. В. Биогенная нагрузка с российской территории на Финский залив. Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2019;12(2):77–87. DOI: <https://doi.org/10.7868/S2073667319020096> EDN: JVSKXQ
8. Сырчина Н. В., Пилип Л. В., Ашихмина Т. Я. Химическая деградация земель под воздействием отходов животноводства. Теоретическая и прикладная экология. 2022;(3):219–225. DOI: <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2022-3-219-225> EDN: OIFOLE
9. Брюханов А. Ю., Васильев Э. В., Шалавина Е. В., Охтилев М. Ю., Коромысличенко О. В. Инструмент для мониторинга экологического состояния и устойчивого развития сельскохозяйственного производства. Техника и технологии в животноводстве. 2023;1(49):78–84. DOI: <https://doi.org/10.22314/27132064-2023-1-78> EDN: UKCKMG
10. Шалавина Е. В., Васильев Э. В. Повышение экологической безопасности путем разработки технологического регламента переработки и использования побочной продукции животноводства. АгроЭкоИнженерия. 2023;(1(114)):141–154. DOI: <https://doi.org/10.24412/2713-2641-2023-1114-141-154> EDN: KABEKB
11. Брюханов А. Ю., Романовская А. А., Шалавина Е. В., Васильев Э. В., Вертянкина В. Ю. 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
12. Второй В. Ф., Второй С. В. Источники эмиссии углекислого газа на молочных фермах крупного рогатого скота. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022;23(4):572–579. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.4.572-579> EDN: XUKOPK
13. Романцева Ю. Н., Бодур А. М., Маслакова В. В., Кагирова М. В. Анализ динамики и структуры эмиссии парниковых газов в сельском хозяйстве России. Аграрная наука. 2024;(2):139–145. DOI: <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-379-2-139-145> EDN: AKUMGW
14. Ахметшина Л. Г. Возможности российского сельского хозяйства в снижении выбросов парниковых газов и адаптации к климатическим изменениям. Вестник Алтайской академии экономики и права. 2022;(4-1):5–14. DOI: <https://doi.org/10.17513/vaael.2129> EDN: AWAYLX
15. Al-Sulaimi I. N., Nayak J. K., Alhimali H., Sana A., Al-Mamun A. Effect of volatile fatty acids accumulation on biogas production by sludge-feeding thermophilic anaerobic digester and predicting process parameters. Fermentation. 2022;8(4):184. DOI: <https://doi.org/10.3390/fermentation8040184>

16. Васильев Э. В., Шалавина Е. В. Методика формирования технологий рециклинга жидких органических отходов животноводства. *АгроЭкоИнженерия*. 2022;(3(112)):97–109.
DOI: <https://doi.org/10.24412/2713-2641-2022-3112-97-108> EDN: XOSCDQ
17. Васильев Э. В., Максимов Д. А., Шалавина Е. В. Результаты исследований биотермической ферментативной переработки органических отходов свиноводческого комплекса с оценкой образующихся выбросов. *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. 2023;3(63):200–206.
DOI: <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2023-3-200-206> EDN: FPWRVP
18. Уваров Р. А., Шалавина Е. В., Васильев Э. В. Технологии утилизации навоза в регионе Балтийского моря: Анализ и наметившиеся тенденции. *АгроЭкоИнженерия*. 2021;(3(108)):117–128.
DOI: <https://doi.org/10.24412/2713-2641-2021-3108-117-128> EDN: PUUYID
19. Зеников В. И. Перспективная технология аэробной ферментации побочных продуктов сельского хозяйства и других отраслей. *Вестник российской сельскохозяйственной науки*. 2024;3:69–72.
DOI: <https://doi.org/10.31857/S2500208224030153> EDN: YWXDIA
20. Baltic Slurry Acidification: Market potential analysis. Edd. S. Neumann, M. Zacharias, R. Stauss, et al. Uppsala: RISE – Research Institutes of Sweden, 2017. 140 p.
21. Хамитов Э. А. Стратегия повышения эффективности утилизации навозных стоков свиноводческих хозяйств с помощью декантерных центрифуг. *Аграрный вестник Северного Кавказа*. 2023;(2(50)):45–51.
DOI: <https://doi.org/10.31279/222-9345-2023-13-50-45-51> EDN: GRJZEU
22. Слиган М. Е., Гордеев В. В. Сравнительная оценка систем навозоудаления на фермах КРС в условиях Северо-Запада России. *АгроЭкоИнженерия*. 2024;(3(120)):168–183.
DOI: <https://doi.org/10.24412/2713-2641-2024-3120-168-183> EDN: AUFQUE
23. Zhang F., Yu W., Liu W., Xu Z. The mixed fermentation technology of solid wastes of agricultural biomass. *Frontiers in Energy Research*. 2020;8:50. DOI: <https://doi.org/10.3389/fenrg.2020.00050>
24. Ayilara M. S., Olanrewaju O. S., Babalola O. O., Odeyemi O. Waste management through composting: challenges and potentials. *Sustainability*. 2020;12(11):4456. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12114456>
25. 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>
26. Брюханов А. Ю., Попов В. Д., Васильев Э. В., Шалавина Е. В., Уваров Р. А. Анализ и решения экологических проблем в животноводстве. *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2021;15(4):48–55.
DOI: <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2021-15-4-48-55> EDN: QOUEYO
27. Li L., Liu Y., Kong Y., Zhang J., Shen Yu., Li G. et al. 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>
28. Ellison R. J., Horwath W. R. Reducing Greenhouse Gas Emissions and Stabilizing Nutrients from Dairy Manure Using Chemical Coagulation. *Journal of Environmental Quality*. 2021;50(2):375–383.
DOI: <https://doi.org/10.1002/jeq2.20195>
29. 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>
30. Gage J. Checklist for odor management at compost facilities. *BioCycle*. 2003;44(5):42–47.
31. Al-Ghussain L. Global warming: review on driving forces and mitigation. *Environmental Progress and Sustainable Energy*. 2019;38(1):13–21. DOI: <https://doi.org/10.1002/ep.13041>
32. Zhou G., Xu X., Qiu X., Zhang J. Biochar influences the succession of microbial communities and the metabolic functions during rice straw composting with pig manure. *Bioresource Technology*. 2019;272:10–18.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.09.135>
33. Awasthi M. K., Zhang Z., Wang Q., et al. New insight with the effects of biochar amendment on bacterial diversity as indicators of biomarkers support the thermophilic phase during sewage sludge composting. *Bioresource Technology*. 2017;238:589–601. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.04.100>
34. Han Z., Sun D., Wang H., Li R., Bao Zh., Qi F. Effects of ambient temperature and aeration frequency on emissions of ammonia and greenhouse gases from a sewage sludge aerobic composting plant. *Bioresource Technology*. 2018;270:457–466. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.09.048>
35. Joshi R., Ahmed S. Status and challenges of municipal solid waste management in India: a review. *Cogent Environmental Science*. 2016;2(1):1139434. DOI: <https://doi.org/10.1080/23311843.2016.1139434>
36. Ahmad A., Aslam Z., Bellitürk K., Ullah E., Raza A., Asif M. Vermicomposting by bio-recycling of animal and plant waste: A review on the miracle of nature. *Journal of Innovative Sciences*. 2022;8(2):175–187.
DOI: <https://doi.org/10.17582/journal.jis/2022/8.2.175.187>
37. Ahn H. K., Mulbry W., White J. W., Kondrad S. L. Pile mixing increases greenhouse gas emissions during composting of dairy manure. *Bioresource Technology*. 2011;102(3):2904–2909.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.10.142>
-

38. Wu C., Li W., Wang K., Li Yu. Usage of pumice as bulking agent in sewage sludge composting. *Bioresource Technology*. 2015;190:516–521. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.03.104>
39. Awasthi M. K., Duan Y., Awasthi S. K., Liu T., Zhang Z., Kim S.-H., Pandey A. Effect of biochar on emission, maturity and bacterial dynamics during sheep manure composting. *Renewable Energy*. 2020;152:421–429. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.01.065>
40. Rahman M. A., Haque S., Athikesavan M. M., Kamaludeen M. B. A review of environmental friendly green composites: production methods, current progresses, and challenges. *Environmental Science and Pollution Research*. 2023;30:16905–16929. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-022-24879-5>
41. Тюрин В. Г., Мысова Г. А., Потемкина Н. Н., Сахаров А. Ю., Кочиш О. И., Бирюков К. Н. Ветеринарно-санитарная оценка современных биотехнологических способов переработки навоза. *Российский журнал «Проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии»*. 2022;(2(42)):230–238. DOI: <https://doi.org/10.36871/vet.san.hyг.ecol.202202012> EDN: CYXGOZ
42. Nigussie A., Kuiper T. W., Bruun S., de Neergaard A. Vermicomposting as a technology for reducing nitrogen losses and greenhouse gas emissions from small-scale composting. *Journal of Cleaner Production*. 2016;139:429–439. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.08.058>
43. Mahapatra S., Samal K., Dash R. R. Waste Stabilization Pond (WSP) for wastewater treatment: a review on factors, modelling and cost analysis. *Journal of Environmental Management*. 2022;308:114668. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.114668>
44. Chen S., Chen X., Xu J. Impacts of climate change on agriculture: Evidence from China. *Journal of Environmental Economics and Management*. 2016;76:105–124. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2015.01.005>
45. Yasmin N., Jamuda M., Panda A. K., Samal K., Nayak J. K. Emission of greenhouse gases (GHGs) during composting and vermicomposting: Measurement, mitigation, and perspectives. *Energy Nexus*. 2022;7:100092. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.nexus.2022.100092>
46. Suthar S., Pandey B., Gusain R., Gaur R. Z., Kumar K. Nutrient changes and biodynamics of *Eisenia fetida* during vermicomposting of water lettuce (*Pistia* sp.) biomass: a noxious weed of aquatic system. *Environmental Science and Pollution Research*. 2017;24(1):199–207. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-016-7770-2>
47. Swati A., Hait S. Greenhouse gas emission during composting and vermicomposting of organic wastes – a review. *Clean – Soil, Air, Water*. 2018;46(6):1700042. DOI: <https://doi.org/10.1002/clen.201700042>
48. Amouei A. I., Yousefi Z., Khosrav T. Comparison of vermicompost characteristics produced from sewage sludge of wood and paper industry and household solid wastes. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*. 2017;15(1):5. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40201-017-0269-z>
49. Сырчина Н. В., Пилип Л. В., Ашихмина Т. Я. Влияние органических удобрений на содержание микроэлементов в зеленой массе кукурузы. *Химия растительного сырья*. 2024;(1):372–380. DOI: <https://doi.org/10.14258/jcprm.20240112298> EDN: QRASQN
50. Hartenstein R. Earthworm Biotechnology and Global Biogeochemistry. *Advances in Ecological Research*. 1986;15:379–409.
51. Тимофеева С. С. Современные технологии биоремедиации окружающей среды. *Экология и промышленность России*. 2016;20(1):54–58. DOI: <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2016-1-54-58> EDN: VLDFJF
52. Васильев Э. В., Егоров С. А., Максимов Д. А., Романов А. С., Шалавина Е. В. Оценка образования побочной продукции животноводства и потерь углерода, азота с газовым выбросом при аэробной биоферментации. *Аграрный научный журнал*. 2025;(2):123–132. DOI: <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2025i2pp123-132> EDN: WHMIPU
53. Миклашевский Н. В., Бекренев А. В. Теоретические предпосылки разработки технологии очистки жидкой фракции при сепарации навозных масс свиноподкомплексов промышленного типа. *Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета*. 2023;(3(72)):91–98. DOI: <https://doi.org/10.24412/2078-1318-2023-3-91-98> EDN: XALILX

References

1. Vetchinnikov D. V. Cost-effective strategies for recycling agricultural waste. *Vestnik Moskovskogo finansovo-yuridicheskogo universiteta MFYuA*. 2022;(3):216–230. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.52210/2224669X_2022_3_216
2. Bychkova E., Rozhdestvenskaya L., Podgorbunskikh E., Kudachyova P. The problems and prospects of developing food products from high-protein raw materials. *Food Bioscience*. 2023;56:103286. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.103286>
3. Shalavina E. V., Vasilev E. V., Uvarov R. A. Methods for environmentally safe use of animal/poultry manure on private farms in the Leningrad region. *AgroEkoInzheneriya = AgroEcoEngineering*. 2021;(3(108)):128–140. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24412/2713-2641-2021-3108-128-140>
4. Kovalev N. G., Gridnev P. I., Gridneva T. T. Scientific support for the development of environmentally safed systems of manure utilization. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2016;(1(50)):62–69. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25476143>

5. Bryukhanov A. Yu., Vasilev E. V., Shalavina E. V. Scientific and technical support for solving the tasks of the Federal Law No. 248 on by-products of animal husbandry. Scientific and information support for the innovative development of the agro-industrial complex: collection of Proceedings of the XVth International Scientific and Practical Conference. Moscow: *Rosinformagrotekh*, 2023. С. 55–61. URL: <https://elibrary.ru/fwuczi>
6. Pozdnyakov Sh. R., Bryukhanov A. Yu., Kondratyev S. A., Ignatyeva N. V., Shmakova M. V., Minakova E. A. et al. Prospects for reducing the removal of nutrients from river catchments through the introduction of the best available agricultural production technologies (based on modeling results). *Vodnye resursy* = Water Resources. 2020;47(5):588–602. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31857/S0321059620050168>
7. Kondratyev S. A., Ershova A. A., Ekholm P., Viktorova N. V. Nutrient load from the Russian territory on the gulf of Finland. *Fundamental'naya i prikladnaya gidrofizika* = Fundamental and Applied Hydrophysics. 2019;12(2):77–87. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.7868/S2073667319020096>
8. Syrchina N. V., Pilip L. V., Ashikhmina T. Ya. Chemical land degradation under the influence of animal husbandry waste. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya* = Theoretical and Applied Ecology. 2022;(3):219–225. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2022-3-219-225>
9. Bryukhanov A. Yu., Vasilyev E. V., Shalavina E. V., Okhtilev M. Yu., Koromyslichenko O. V. An instrument for environmental state and agricultural production's sustainable development monitoring. *Tekhnika i tekhnologii v zhivotnovodstve* = Machinery and technologies in livestock. 2023;1(49):78–84. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.22314/27132064-2023-1-78>
10. Shalavina E. V., Vasilev E. V. Improving the environmental safety through the development of technological regulations for processing and application of by-products. *AgroEkoInzheneriya* = AgroEcoEngineering. 2023;(1(114)):141–154. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24412/2713-2641-2023-1114-141-154>
11. Bryukhanov A. Yu., Romanovskaya A. A., Shalavina E. V., Vasilyev E. V., Vertyankina V. Yu. Effect of animal and poultry manure processing technologies on greenhouse gas emissions. *Inzhenernye tekhnologii i sistemy* = Engineering Technologies and Systems. 2024;34(4):563–583. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15507/2658-4123.034.202404.563-583>
12. Vtoryi V.F., Vtoryi S.V. Sources of carbon dioxide emissions on a cattle dairy farm. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2022;23(4):572–579. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.4.572-579>
13. Romantseva Yu. N., Bodur A. M., Maslakova V. V., Kagirowa M. V. Analysis of the dynamics and structure of greenhouse gas emissions in Russian agriculture. *Agrarnaya nauka*. 2024;(2):139–145. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-379-2-139-145>
14. Akhmetshina L. G. Opportunities for Russian agriculture to reduce greenhouse gas emissions and adapt to climatic changes. *Vestnik Altayskoy akademii ekonomiki i prava*. 2022;(4-1):5–14. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.17513/vaael.2129>
15. Al-Sulaimi I. N., Nayak J. K., Alhimali H., Sana A., Al-Mamun A. Effect of volatile fatty acids accumulation on biogas production by sludge-feeding thermophilic anaerobic digester and predicting process parameters. *Fermentation*. 2022;8(4):184. DOI: <https://doi.org/10.3390/fermentation8040184>
16. Vasilev E. V., Shalavina E. V. Approach to development of recycling technologies for liquid organic waste generated in animal husbandry. *AgroEkoInzheneriya* = AgroEcoEngineering. 2022;(3(112)):97–109. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24412/2713-2641-2022-3112-97-108>
17. Vasilyev E. V., Maksimov D. A., Shalavina E. V. Research results of biothermal fermentative processing of organic waste from a pig rearing complex with assessment of emissions generated. *Vestnik Ulyanovskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy. 2023;3(63):200–206. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2023-3-200-206>
18. Uvarov R. A., Shalavina E. V., Vasilev E. V. Tekhnologii uti-lizatsii navoza v regione Baltiyskogo morya: Analiz i nametivshiesya tendentsii. *AgroEkoInzheneriya* = AgroEcoEngineering. 2021;(3(108)):117–128. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24412/2713-2641-2021-3108-117-128>
19. Zenikov V. I. Promising technology for aerobic fermentation of by-products from agriculture and other industries. *Vestnik Rossiyskoy sel'skokhozyaystvennoy nauki* = Vestnik of the Russian agricultural science. 2024;3:69–72. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31857/S2500208224030153>
20. Baltic Slurry Acidification: Market potential analysis. Edd. S. Neumann, M. Zacharias, R. Stauss, et al. Uppsala: RISE – Research Institutes of Sweden, 2017. 140 p.
21. Khamitov E. A. Strategy for improving the efficiency of utilization of pig farm manure effluents using decanter centrifuges. *Agrarnyy vestnik Severnogo Kavkaza* = Agrarian Bulletin of the North Caucasus. 2023;(2(50)):45–51. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31279/222-9345-2023-13-50-45-51>
22. Sligan M. E., Gordeev V. V. Comparative evaluation of manure removal systems on cattle farms in the conditions of the northwest of Russia. *AgroEkoInzheneriya* = AgroEcoEngineering. 2024;(3(120)):168–183. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24412/2713-2641-2024-3120-168-183>
23. Zhang F., Yu W., Liu W., Xu Z. The mixed fermentation technology of solid wastes of agricultural biomass. *Frontiers in Energy Research*. 2020;8:50. DOI: <https://doi.org/10.3389/fenrg.2020.00050>
-

24. Ayilara M. S., Olanrewaju O. S., Babalola O. O., Odeyemi O. Waste management through composting: challenges and potentials. *Sustainability*. 2020;12(11):4456. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12114456>
25. 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>
26. Bryukhanov A. Yu., Popov V. D., Vasilev E. V., Shalavina E. V., Uvarov R.A. Analysis and Solutions to Environmental Problems in Livestock Farming. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii* = Agricultural Machinery and Technologies. 2021;15(4):48–55. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2021-15-4-48-55>
27. Li L., Liu Y., Kong Y., Zhang J., Shen Yu., Li G. et al. 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>
28. Ellison R. J., Horwath W. R. Reducing Greenhouse Gas Emissions and Stabilizing Nutrients from Dairy Manure Using Chemical Coagulation. *Journal of Environmental Quality*. 2021;50(2):375–383. DOI: <https://doi.org/10.1002/jeq2.20195>
29. 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>
30. Gage J. Checklist for odor management at compost facilities. *BioCycle*. 2003;44(5):42–47.
31. Al-Ghussain L. Global warming: review on driving forces and mitigation. *Environmental Progress and Sustainable Energy*. 2019;38(1):13–21. DOI: <https://doi.org/10.1002/ep.13041>
32. Zhou G., Xu X., Qiu X., Zhang J. Biochar influences the succession of microbial communities and the metabolic functions during rice straw composting with pig manure. *Bioresource Technology*. 2019;272:10–18. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.09.135>
33. Awasthi M. K., Zhang Z., Wang Q., et al. New insight with the effects of biochar amendment on bacterial diversity as indicators of biomarkers support the thermophilic phase during sewage sludge composting. *Bioresource Technology*. 2017;238:589–601. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.04.100>
34. Han Z., Sun D., Wang H., Li R., Bao Zh., Qi F. Effects of ambient temperature and aeration frequency on emissions of ammonia and greenhouse gases from a sewage sludge aerobic composting plant. *Bioresource Technology*. 2018;270:457–466. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.09.048>
35. Joshi R., Ahmed S. Status and challenges of municipal solid waste management in India: a review. *Cogent Environmental Science*. 2016;2(1):1139434. DOI: <https://doi.org/10.1080/23311843.2016.1139434>
36. Ahmad A., Aslam Z., Bellitürk K., Ullah E., Raza A., Asif M. Vermicomposting by bio-recycling of animal and plant waste: A review on the miracle of nature. *Journal of Innovative Sciences*. 2022;8(2):175–187. DOI: <https://doi.org/10.17582/journal.jis/2022/8.2.175.187>
37. Ahn H. K., Mulbry W., White J. W., Kondrad S. L. Pile mixing increases greenhouse gas emissions during composting of dairy manure. *Bioresource Technology*. 2011;102(3):2904–2909. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.10.142>
38. Wu C., Li W., Wang K., Li Yu. Usage of pumice as bulking agent in sewage sludge composting. *Bioresource Technology*. 2015;190:516–521. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.03.104>
39. Awasthi M. K., Duan Y., Awasthi S. K., Liu T., Zhang Z., Kim S.-H., Pandey A. Effect of biochar on emission, maturity and bacterial dynamics during sheep manure compositing. *Renewable Energy*. 2020;152:421–429. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.01.065>
40. Rahman M. A., Haque S., Athikesavan M. M., Kamaludeen M. B. A review of environmental friendly green composites: production methods, current progresses, and challenges. *Environmental Science and Pollution Research*. 2023;30:16905–16929. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-022-24879-5>
41. Tyurin V. G., Mysova G. A., Potemkina N. N., Sakharov A. Yu., Kochish O. I., Biryukov K. N. Veterinary and sanitary assessment of modern biotechnological methods of manure processing. *Rossiyskiy zhurnal «Problemy veterinarnoy sanitarii, gigieny i ekologii»* = The Russian journal «Problems of Veterinary Sanitation, Hygiene and Ecology». 2022;(2(42)):230–238. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.36871/vet.san.hyg.ecol.202202012>
42. Nigussie A., Kuyper T. W., Bruun S., de Neergaard A. Vermicomposting as a technology for reducing nitrogen losses and greenhouse gas emissions from small-scale composting. *Journal of Cleaner Production*. 2016;139:429–439. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.08.058>
43. Mahapatra S., Samal K., Dash R. R. Waste Stabilization Pond (WSP) for wastewater treatment: a review on factors, modelling and cost analysis. *Journal of Environmental Management*. 2022;308:114668. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.114668>
44. Chen S., Chen X., Xu J. Impacts of climate change on agriculture: Evidence from China. *Journal of Environmental Economics and Management*. 2016;76:105–124. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2015.01.005>
45. Yasmin N., Jamuda M., Panda A. K., Samal K., Nayak J. K. Emission of greenhouse gases (GHGs) during composting and vermicomposting: Measurement, mitigation, and perspectives. *Energy Nexus*. 2022;7:100092. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.nexus.2022.100092>

46. Suthar S., Pandey B., Gusain R., Gaur R. Z., Kumar K. Nutrient changes and biodynamics of *Eisenia fetida* during vermicomposting of water lettuce (*Pistia* sp.) biomass: a noxious weed of aquatic system. *Environmental Science and Pollution Research*. 2017;24(1):199–207. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-016-7770-2>
47. Swati A., Hait S. Greenhouse gas emission during composting and vermicomposting of organic wastes – a review. *Clean – Soil, Air, Water*. 2018;46(6):1700042. DOI: <https://doi.org/10.1002/clen.201700042>
48. Amouei A. I., Yousefi Z., Khosrav T. Comparison of vermicompost characteristics produced from sewage sludge of wood and paper industry and household solid wastes. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*. 2017;15(1):5. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40201-017-0269-z>
49. Syrchina N. V., Pilip L. V., Ashikhmina T. Ya. The effect of organic fertilizers on the content of trace elements in the green mass of corn. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* = Chemistry of plant raw material. 2024;(1):372–380. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.14258/jcprm.20240112298>
50. Hartenstein R. Earthworm Biotechnology and Global Biogeochemistry. *Advances in Ecological Research*. 1986;15:379–409.
51. Timofeeva S. S. Modern Technologies of Bioremediation for Environment. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii* = Ecology and Industry of Russia. 2016;20(1):54–58. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2016-1-54-58>
52. Vasilyev E. V., Egorov S. A., Maksimov D. A., Romanov A. S., Shalavina E. V. Estimation of animal by-products formation and carbon and nitrogen loss with gas emission during aerobic fermentation. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal* = The Agrarian Scientific Journal. 2025;(2):123–132. (In Russ.). DOI: <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2025i2pp123-132>
53. Miklashevskiy N. V., Bekrenov A. V. Theoretical background of the development of the technology for cleaning the liquid fraction when separating manure masses of industrial type pig farms. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University. 2023;(3(72)):91–98. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24412/2078-1318-2023-3-91-98>

Сведения об авторах

✉ **Голембовский Владимир Владимирович**, кандидат с.-х. наук, ведущий научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт овцеводства и козоводства – филиал ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр», пер. Зоотехнический, 15, г. Ставрополь, Российская Федерация, 355017, e-mail: info.vniok@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3124-0587>, e-mail: vvh26@yandex.ru

Коровин Андрей Анатольевич, доктор мед. наук, ведущий научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт овцеводства и козоводства – филиал ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр», пер. Зоотехнический, 15, г. Ставрополь, Российская Федерация, 355017, e-mail: info.vniok@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-2565-1149>

Сергеева Наталья Владимировна, кандидат биол. наук, старший научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт овцеводства и козоводства – филиал ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр», пер. Зоотехнический, 15, г. Ставрополь, Российская Федерация, 355017, e-mail: info.vniok@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7077-3960>

Information about the authors

✉ **Vladimir V. Golembovski**, PhD in Agricultural Science, leading researcher, All-Russian Research Institute of Sheep and Goat Breeding – branch of the North Caucasian Agrarian Center, 15, Zootechnical Lane, Stavropol, Russian Federation, 355017, e-mail: info.vniok@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3124-0587>, e-mail: vvh26@yandex.ru

Andrey A. Korovin, DSc in Medical Science, leading researcher, All-Russian Research Institute of Sheep and Goat Breeding – branch of the North Caucasian Agrarian Center, 15, Zootechnical Lane, Stavropol, Russian Federation, 355017, e-mail: info.vniok@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-2565-1149>

Natalia V. Sergeeva, PhD in Biology, senior researcher, All-Russian Research Institute of Sheep and Goat Breeding – branch of the North Caucasian Agrarian Center, 15, Zootechnical Lane, Stavropol, Russian Federation, 355017, e-mail: info.vniok@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7077-3960>

✉ – Для контактов / Corresponding author