

Сравнительное исследование биопрепаратов для ускоренной деструкции конского навоза с опилками

Вятский ГАТУ, г. Киров, Российская Федерация

Е.Н. Усманова, Л.И. Кузякина, М.Н. Втюрина

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Елена Николаевна Усманова

E-mail: elena_akademy@mail.ru

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Усманова, Е.Н., Кузякина, Л.И., & Втюрина, М.Н. (2025). Сравнительное исследование биопрепаратов для ускоренной деструкции конского навоза с опилками. *Хранение и переработка сельхозсырья*, 33(2), 142–165. <https://doi.org/10.36107/spfp.2025.2.632>

ПОСТУПИЛА: 22.09.2024

ПРИНЯТА: 15.06.2025

ОПУБЛИКОВАНА: 30.06.2025

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

автор сообщает об отсутствии конфликта интересов.



АННОТАЦИЯ

Введение: Органические отходы животноводства представляют собой одновременно ценный ресурс и источник экологических рисков. Эффективная их утилизация позволяет снизить выбросы парниковых газов, контролировать эпидемиологические угрозы и восстанавливать плодородие почв. Переработка конского навоза с высоким содержанием древесной подстилки, характерного для конных клубов, остаётся малоизученной. С учетом устойчивости лигноцеллюлозных компонентов к микробной деградации актуален отбор и валидация биопрепаратов, способных ускорить компостирование таких субстратов.

Цель: Провести сравнительную оценку эффективности микробиологических препаратов по показателям темпов деструкции, агрономической ценности полученных субстратов и содержания водорастворимых форм элементов питания.

Материалы и методы: Эксперимент включал заложение буртов из свежего конского навоза с опилочной подстилкой с добавлением биопрепаратов «Феркон Д», «Феркон ДН», «Биолатик универсал», «Байкал ЭМ-1» и контрольного варианта без обработки. Оценивались температурная динамика, степень усадки буртов, всхожесть и рост кресс-салата и шпината. Содержание водорастворимых форм калия и фосфора определяли методом капиллярного электрофореза с использованием системы «Капель-105М».

Результаты: Варианты с внесением биопрепаратов продемонстрировали ускоренную термофильную фазу компостирования и улучшенные характеристики зрелого компоста по сравнению с контролем. Наиболее выраженные эффекты наблюдались при использовании препарата «Феркон ДН»: максимальная температура (41 °С), наибольшая усадка бурта, высокая всхожесть семян, значительное увеличение длины проростков (до 15,54 см у кресс-салата и 3,86 см у шпината, $p < 0,001$), а также наибольшее содержание калия (0,19 %) и фосфора (0,28 %).

Выводы: Исследование подтвердило эффективность применения биопрепаратов для ускоренной деструкции конского навоза с древесной подстилкой. Наилучшие результаты показал препарат «Феркон ДН», эффективность которого, вероятно, обусловлена действием ферментного комплекса с целлюлазой и бактериями *Bacillus thuringiensis*. Полученные данные указывают на перспективность использования данного препарата в условиях фермерских хозяйств при переработке лигноцеллюлозосодержащих субстратов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

деструкция конского навоза; использование бактериального метода; бактериальные препараты; экология; температура; содержание фосфора и калия

Comparative Study of Microbial Preparations for Accelerated Decomposition of Horse Manure with Sawdust

Vyatka State University
of Agrotechnology, Kirov,
Russian Federation

Elena N. Usmanova, Lyudmila I. Kuzyakina, Marina N. Vtyurina

CORRESPONDENCE:

Elena N. Usmanova

E-mail: elena_akademy@mail.ru

FOR CITATIONS:

Usmanova, E.N., Kuzyakina, L.I., & Vtyurina, M.N. (2025). Comparative study of microbial preparations for accelerated decomposition of horse manure with sawdust. *Storage and Processing of Farm Products*, 33(2), 142–165. <https://doi.org/10.36107/spfp.2025.2.632>

RECEIVED: 22.09.2024

ACCEPTED: 15.06.2025

PUBLISHED: 31.06.2025

DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.



ABSTRACT

Introduction: Organic livestock waste represents both a valuable resource and a source of environmental risk. Its effective utilization reduces greenhouse gas emissions, mitigates epidemiological threats, and contributes to soil fertility restoration. The processing of horse manure with high wood bedding content, typical for equestrian facilities, remains insufficiently studied. Given the resistance of lignocellulosic materials to microbial degradation, there is a need to select and validate microbial preparations capable of accelerating composting of such substrates.

Purpose: To conduct a comparative assessment of the effectiveness of microbial preparations based on decomposition rate, agronomic value of composted substrates, and the concentration of water-soluble nutrient elements.

Materials and Methods: The experiment involved piles of fresh horse manure with sawdust bedding treated with microbial preparations: “Ferkon D,” “Ferkon DN,” “Biolatic Universal,” and “Baikal EM-1,” as well as an untreated control. Temperature dynamics, pile shrinkage, seed germination, and growth of cress and spinach were evaluated. Water-soluble forms of potassium and phosphorus were measured using capillary electrophoresis (“Kapel-105M”). Statistical data processing was performed using Microsoft Excel (2021).

Results: All treatments with microbial preparations enhanced the thermophilic phase of composting and improved compost quality compared to the control. The most pronounced effects were observed in the “Ferkon DN” variant: maximum temperature (41 °C), highest shrinkage, increased germination, significant shoot length (up to 15.54 cm for cress and 3.86 cm for spinach, $p < 0.001$), and the highest concentrations of potassium (0.19 %) and phosphorus (0.28 %).

Conclusion: The study confirmed the effectiveness of microbial preparations in accelerating the decomposition of horse manure with wood bedding. “Ferkon DN” showed the best performance, likely due to the action of its enzymatic complex containing cellulase and *Bacillus thuringiensis*. These findings support the potential of using this preparation in small-scale manure recycling systems, particularly for lignocellulose-rich substrates.

KEYWORDS

destruction of horse manure; use of bacterial method; bacterial preparations; ecology; temperature; phosphorus & potassium content

ВВЕДЕНИЕ

Органические отходы животноводства одновременно представляют собой источник экологического риска и стратегически важный ресурс для получения биологически активных удобрений (Abdugheni et al., 2023; Alegbeleye & Sant'Ana, 2020). Их нерациональное использование способствует загрязнению почв, водных объектов и атмосферы, включая эмиссию парниковых газов. Вместе с тем, при эффективной утилизации навоз может служить элементом замкнутого агробиологического цикла, способствуя восстановлению плодородия и устойчивости агроэкосистем (Guo et al., 2019).

На уровне государственной политики значимость этих процессов закреплена в Федеральном законе № 248-ФЗ «О побочных продуктах животноводства...», в котором навоз признается не отходом, а побочным продуктом с потенциальной ресурсной ценностью. Содержание в навозе макроэлементов (азота, фосфора, калия) делает его перспективной основой для производства органических удобрений, при условии эффективной деструкции и обеззараживания (Aguilar-Paredes et al., 2023). Однако без технологически выверенной переработки навоз и навозные стоки становятся источником патогенов, антибиотикостойчивых бактерий и значительных объемов метана и закиси азота.

В последние годы разработано множество биотехнологических решений для утилизации навоза крупного рогатого скота, свиней и птицы, основанных на применении микробных консорциумов, ферментных агентов и контролируемых условий компостирования (Chen et al., 2021; Liu et al., 2023; Wang, 2021). Тем не менее, один из наиболее сложных субстратов — конский навоз с древесной подстилкой, особенно характерный для конных клубов, остаётся значительно менее изученным. Его отличает высокая доля лигноцеллюлозных соединений, что усложняет микробную деградацию, снижает скорость компостирования и качество получаемого удобрения. Проблема разложения целлюлозы и лигнина микроорганизмами остается нерешенной с технологической точки зрения (Lynd et al., 2002). Таким образом, наблюдается явный пробел в эмпирических данных о биоразложении конского навоза с древесной подстилкой. В условиях малых фермерских хозяйств и частных конюшен проблема усугубляется ограниченностью ресурсов,

необходимостью быстрой утилизации и отсутствием доступа к энергоемким технологиям. Это определяет потребность в разработке и валидации доступных микробиологических решений, способных ускорить процесс переработки и обеспечить получение агрономически ценных компостов.

Настоящее исследование направлено на сравнительный анализ эффективности четырех биопрепаратов, применяемых для ускоренной деструкции конского навоза с высоким содержанием опилок. Особое внимание уделено биотермической активности компостируемых смесей, агрономической пригодности конечных продуктов и их химическому составу. Комплексная оценка позволит уточнить механизмы микробной трансформации, определить условия эффективного применения биопрепаратов и внести вклад в формирование экологически устойчивых практик утилизации в коневодстве. Цель исследования: провести сравнительную оценку темпов деструкции, агрономической ценности и биохимических характеристик субстратов, полученных в результате компостирования конского навоза с древесной подстилкой при использовании различных биопрепаратов. Полученные результаты могут быть использованы для оптимизации технологий утилизации органических отходов в малых хозяйствах, обеспечивая снижение экологической нагрузки и повышение ресурсной эффективности аграрного сектора.

ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

Экологическая и санитарная значимость проблемы

Рациональное управление отходами животноводства представляет собой неотъемлемое условие экологической устойчивости агропромышленного комплекса. Навоз и помет, будучи побочными продуктами функционирования животноводческих ферм и птицефабрик, одновременно являются крупным источником антропогенного загрязнения и потенциальным ресурсом для производства органических удобрений (Abdugheni et al., 2023; Alegbeleye & Sant'Ana, 2020). Нарушение санитарно-гигиенических требований при их хранении и утилизации чревато эпидемиологическими и экологическими рисками, включая загрязнение почв, водных объектов и атмосферного воздуха.

Согласно актуальным оценкам, до 50% выбросов аммиака и закиси азота в животноводстве связано именно с навозом (Zhang et al., 2023; Abdugheni et al., 2023; Yvonne et al., 2024). Эти газы не только способствуют образованию вторичных аэрозолей и кислотных дождей, но и усиливают парниковый эффект. Кроме того, свежий навоз представляет собой биологически активную матрицу с высокой микробной нагрузкой, включая патогенные и условно-патогенные формы, устойчивые к действию антибиотиков. По данным Всемирной организации здравоохранения, навоз и навозные стоки могут содержать более 100 видов возбудителей инфекций, включая зоонозные бактерии, опасные для человека (Alegbeleye et al., 2020). В 1 мг навоза может содержаться до 170 млн микробных клеток, способных сохранять вирулентные свойства в течение длительного времени (Heinonen-Tanski et al., 2006). Миграция этих микроорганизмов возможна через грунтовые воды, насекомых и механическое распространение, что создает устойчивые очаги заражения (Bhave et al., 2019). Как показывают исследования Jiang и Wang (2024), состав микробиоты навоза варьируется в зависимости от вида животных, региона и состава рациона, что требует адаптированных решений при выборе методов обеззараживания.

Современные подходы к деструкции навоза включают химические, физические и биологические методы (Abdugheni et al., 2023). Однако механические и термические технологии часто сопровождаются высокими энергетическими затратами и значительными потерями питательных веществ. Также малоэффективными показали себя традиционные практики, такие как рассеивание свежего навоза по полям: они не решают проблему патогенов и приводят к выбросам парниковых газов и потере азота (Vander Zaag et al., 2022). На этом фоне возрастающее внимание уделяется биотехнологическим решениям, основанным на использовании природных или адаптированных микробных сообществ, способных ускорить переработку органического вещества и снизить эпидемиологические риски (Li et al., 2023; Kumawat et al., 2023).

Наиболее перспективным направлением признают микробное компостирование, предполагающее активное участие целевых бактериальных консорциумов. С 1990-х годов наблюдается переход от использования отдельных штаммов к многостаммовым системам с направленной ферментативной

активностью (Jiang, 2024). Особенно активно применяются целлюлозоразрушающие и протеолитические микроорганизмы рода *Bacillus*, а также штаммы с уреазной и инсектицидной активностью (Chen et al., 2021; Liu et al., 2023). Такие консорциумы доказали свою эффективность при переработке навоза крупного рогатого скота, свиней и птицы.

Однако тип животного и особенности подстилочного материала существенно влияют на эффективность деструкции. Конский навоз, особенно при содержании лошадей на древесной подстилке, представляет особую технологическую сложность из-за высокого содержания лигноцеллюлозы. Эти компоненты устойчивы к микробной деградации и требуют специализированных ферментных систем для эффективного компостирования. В отличие от навоза КРС или свиней, научные данные о биотехнологической утилизации конского навоза остаются фрагментарными и ограниченными в прикладном измерении.

Технологии утилизации навоза

Видоспецифичность, микробные сообщества и биотрансформация

Современные технологии утилизации навоза демонстрируют высокую степень зависимости от видоспецифических характеристик исходного сырья. Разнообразие в морфологии, биохимическом составе и структуре навоза различных сельскохозяйственных животных обуславливает существенные различия в эффективности как аэробных, так и анаэробных процессов разложения. При этом тип используемой микробной инокуляции, выбор носителей и режим переработки должны соотноситься с физико-химическими особенностями конкретного субстрата.

Например, в ряде сравнительных исследований было показано, что навоз крупного рогатого скота обладает более высокой биоразлагаемостью по сравнению с экскрементами коз, что объясняется меньшей долей лигноцеллюлозных соединений в его составе. При анаэробном сбраживании степень разложения коровьего навоза может достигать 81%, тогда как для козьего навоза она ограничивается 26% (Nleya et al., 2024). Это наблюдение указывает на необходимость адаптации технологии под повышенную устойчивость органической матрицы в случае мелкого рогатого скота.

Подобная зависимость наблюдается и при компостировании: бактерии, ответственные за разложение белков и углеводов, варьируются в зависимости от вида навоза. Как показали Chen et al. (2021), активность микробных сообществ в термофильной фазе компостирования определяется химическим профилем субстрата. Авторы выявили, что компостирование куриного навоза сопровождается более высокой скоростью микробной деструкции, что связано с большим содержанием легкоусвояемых компонентов по сравнению с навозом КРС. Эти данные подтверждают значимость подбора микробиологических консорциумов в зависимости от типа органического сырья.

В контексте ускоренной утилизации органических отходов определённый интерес представляют исследования по созданию целевых биопрепаратов. Так, ещё в 1990-х годах Чекакина, Лежнев и Слынько (1993) разработали биологический продукт, способный трансформировать птичий помет в стабилизированное органическое удобрение, пригодное не только для агротехнических целей, но и в качестве кормовой добавки. Однако отсутствие масштабного внедрения данной технологии свидетельствует о том, что биологическая эффективность должна быть подкреплена оценкой экономической целесообразности и нормативной совместимости продуктов переработки.

Решения, адаптированные к конкретным типам навоза, демонстрируют высокую эффективность при применении дополнительных структурообразующих наполнителей. Lalthlansanga et al. (2023) провели эксперимент по компостированию свиного навоза с использованием трех типов органических наполнителей: опилок, сухих листьев и рисовой соломы. Их результаты указывают на то, что включение углеродсодержащих компонентов не только улучшает физическую структуру компостируемой массы, но и способствует оптимизации аэрации и микробной активности. Это особенно важно в условиях свиноводческих комплексов, где высокое содержание влаги и аммиака в отходах повышает риски загрязнения окружающей среды.

Конский навоз, рассматриваемый как сырьё для производства биогаза, представляет собой перспективный источник возобновляемой энергии, однако биотрансформация данного субстрата все еще сопровождается неопределенностями в отно-

шении качества остаточных продуктов. Hadin (2016) подчеркивает, что хотя сам процесс анаэробного сбраживания может быть эффективным, агрономическая ценность получаемого дигестата требует отдельного научного анализа. Недостаточная изученность биохимических свойств продуктов переработки ограничивает их использование в замкнутом аграрном цикле.

Совокупно, представленные исследования формируют аргумент в пользу необходимости разработки дифференцированных технологий утилизации навоза, опирающихся на видоспецифический состав сырья, подбор соответствующих микробных консорциумов и адаптацию условий переработки к физико-химическим характеристикам субстрата. Универсальные подходы демонстрируют ограниченную применимость, в то время как таргетированные решения позволяют повысить как экологическую устойчивость процессов, так и ценность получаемых продуктов.

Температурные режимы компостирования: термофильные, мезофильные и низкотемпературные технологии

Температурный режим представляет собой один из ключевых факторов, определяющих кинетику и эффективность микробной трансформации органического вещества при компостировании навоза. В современных исследованиях установлено, что выбор между термофильными, мезофильными и низкотемпературными стратегиями переработки не может быть универсальным: каждая из них обладает собственной спецификой, преимуществами и ограничениями, определяемыми как составом субстрата, так и климатическими условиями и целевыми параметрами готового продукта.

Наиболее интенсивные процессы деструкции органического вещества наблюдаются при термофильном компостировании (55–60 °C), где за счёт высокой температуры и ускоренной микробной активности обеспечивается не только быстрая минерализация, но и снижение санитарно-эпидемиологических рисков. Согласно Zhang et al. (2023) и Wang et al. (2024), повышение температуры приводит к инаktivации патогенов, включая нематод, и угнетению метаболизма конкурентных микроорганизмов, что способствует оздоровлению субстра-

та и ускорению ферментативных реакций. Как подчеркивают Sun et al. (2017, 2021) и Aguilar-Paredes et al. (2023), температура бурта является не только следствием, но и активным регулятором микробной динамики: тепло, генерируемое при распаде белков и углеводов, задаёт вектор дальнейшей сукцессии микробных сообществ. Особенно эффективно термофильное компостирование при применении инокулированных культур, содержащих ферментативно активные штаммы: это позволяет ускорить разложение субстрата и повысить стабильность готового продукта (Wang et al., 2021). Экспериментальное исследование Chen et al. (2021) продемонстрировало, что при компостировании куриного и коровьего навоза термофильная стадия была наиболее продуктивной с точки зрения расщепления белков и углеводов, при этом идентифицированы бактериальные таксоны, ответственные за сокращение длительности процесса.

Однако термофильная технология не является универсальным решением. Приоритетность максимальной скорости разложения не всегда коррелирует с качеством получаемого удобрения. В условиях, когда целесообразно сохранить как можно больше органического азота, предпочтение отдается мезофильному компостированию (20–45 °C). Gómez et al. (2011) установили, что в мезофильных условиях выход газа выше, а разрушение лигноцеллюлозных компонентов, таких как солома, происходит более полно, чем в термофильной системе. Таким образом, мезофильная ферментация обеспечивает более щадящую трансформацию субстрата и позволяет сохранить полезные биогенные элементы. В то же время её чувствительность к внешней температуре остается существенным фактором ограничения: в холодный период года эффективность процесса существенно снижается, что требует адаптации режима к климатическим реалиям.

Именно поэтому растущий интерес вызывают низкотемпературные стратегии компостирования, ориентированные на условия холодного климата. Исследования китайских авторов (Chen et al., 2019; Sun et al., 2017, 2021) продемонстрировали возможность запуска и поддержания микробиологических процессов в диапазоне 10–30 °C. Ключевым элементом технологии стал холодоустойчивый микробный агент (САМА), добавляемый в куриный помёт. Проведенные в холодильной камере эксперименты показали, что температура в опытной

группе достигала 50 °C за 53 часа, тогда как в контроле она не превышала 30 °C. Это сопровождалось значительным повышением активности ключевых ферментов, таких как уреазы, протеазы, α -глюкозидазы и инвертазы (Sun et al., 2017), что свидетельствует о способности адаптированных микробных сообществ к эффективной деструкции даже в условиях температурного дефицита. Как подчёркивают De Maayer et al. (2014), подобные микроорганизмы обладают уникальными механизмами молекулярной адаптации, включая изменения в структуре клеточных оболочек и ферментных комплексов, обеспечивающие функционирование при низких температурах.

Тем не менее, несмотря на обнадеживающие результаты, механизмы деградации органических соединений в условиях низкотемпературного пускового компостирования остаются недостаточно изученными. Нерешенными остаются вопросы, касающиеся устойчивости микробных консорциумов, долговременного эффекта ферментативной активности и воспроизводимости результатов в производственных масштабах. Как справедливо отмечают Sun et al. (2021), дальнейшее исследование закономерностей микробной трансформации в условиях ограниченного теплоснабжения может существенно повысить ресурсную эффективность и расширить возможности применения компостирования в экстремальных климатических зонах.

Микробные консорциумы и типы бактерий, применяемые для деструкции навоза

Бактериальные сообщества играют ключевую роль в биодеградации органических остатков в навозе, выступая катализаторами ферментативных реакций, обеспечивающих трансформацию субстрата в стабилизированные и экологически безопасные формы. Наиболее значимыми микробными функциональными группами, задействованными в процессах компостирования и анаэробного сбраживания, являются гидролитические, кислотообразующие, метанообразующие, гумусообразующие и молочнокислые бактерии (Li, 2023; Sarwari et al., 2024). Каждая из них выполняет специализированные функции на отдельных стадиях микробной сукцессии, обеспечивая комплексную переработку навоза в зависимости от его химического состава и условий окружающей среды.

В период с 1990-х годов по настоящее время наблюдается заметное расширение спектра используемых бактериальных штаммов и консорциумов, применяемых для биообеззараживания и ускоренной деструкции навоза. На ранних этапах исследований (Чекакина и соавт., 1993) для биоферментации птичьего помета предлагались молочнокислые и термофильные бактерии, включая *Streptococcus thermophilus*, *Streptococcus bovis*, *Lactobacillus salivarius*, *Lactobacillus acidophilus*. Эти штаммы демонстрировали эффективность в условиях высокой влажности (80–90%) и температурного градиента (от 60 до 30 °C), особенно при ферментации с применением влагопоглотителей и синантропных личинок. Однако сложность многоступенчатого процесса, необходимость температурного контроля и узкая специализация бактерий на определенном типе навоза ограничивали масштабируемость технологии.

Последующие разработки позволили значительно расширить бактериальный пул за счет внедрения аэробных и факультативно-анаэробных штаммов с широким спектром ферментативной активности. Так, в исследованиях Тарабукиной и соавт. (1998) были успешно использованы штаммы *Bacillus subtilis*, отличающиеся высокой устойчивостью к колебаниям температуры и эффективностью при деструкции белково-полисахаридного комплекса в навозе. В дальнейшем Федоров и соавт. (2009) предложили более сложные бактериальные композиции, включающие *Pseudomonas*, *Enterobacter*, *Cellulomonas*, *Arthrobacter*, *Streptococcus*, *Propionibacterium* и *Erwinia*, что позволило адаптировать препараты под более широкий спектр субстратов — от куриного помета до навоза крупного рогатого скота и свиней.

Особого внимания заслуживает многоштаммовый консорциум, включающий как бактерии, так и грибы и дрожжи, предложенный Федоровым и соавт. (2020): *Bacillus subtilis* B-168, *Bacillus mycoides* B-691, *Streptomyces* sp. Ac-154, *Mukor psychrophilus* F-1441, *Candida utilis* Y-244. Это решение обеспечивало одновременную активацию целого ряда ферментативных механизмов, включая протеолиз, целлюлололиз и переработку липидов, что повышало универсальность и биологическую эффективность препарата.

Разработка отечественных биоактиваторов на основе указанных штаммов нашла отражение и в патентной документации. В 2010 году был зарегистриро-

ван биопрепарат, предназначенный для ускоренной ферментации органических отходов с целью получения экологически безопасного удобрения для растениеводства. В его состав входят молочнокислые бактерии и стрептококки, а также штаммы из родов *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Enterobacter*, *Cellulomonas*, *Arthrobacter*, *Streptococcus*, *Propionibacterium* и *Erwinia* (Федоров и соавт., 2010; патент РФ № RU2395062C1 по МПК C12N1/20A01N63).

Несмотря на разнообразие доступных бактериальных решений, основными проблемами остаются: узкая субстратная специфичность (многие препараты адаптированы к одному типу навоза); высокая себестоимость и расход микробиологического материала; необходимость строгого соблюдения технологических параметров (влажность, аэрация, температура). Следовательно, существует насущная необходимость в сопоставительном исследовании эффективности разных микробных консорциумов на различных типах навоза, а также в разработке универсальных композиций, устойчивых к вариативности субстрата и условий среды. Это позволит повысить воспроизводимость процессов и расширить сферу применения биопрепаратов в сельскохозяйственной практике.

Специфика подстилочных материалов и вызовы деструкции конского навоза с высоким содержанием древесины

Подстилочные материалы, применяемые при содержании сельскохозяйственных животных, существенно влияют на эффективность процессов компостирования. Их химическая природа, степень аэрируемости и сорбционная способность обуславливают как динамику микробной активности, так и трансформацию органических соединений, включая лигноцеллюлозный комплекс. Особое внимание в этом контексте заслуживает конский навоз, в составе которого нередко преобладают древесные опилки — стандартный подстилочный материал, широко используемый в коневодческих хозяйствах и клубах.

Сравнительные исследования показали, что подстилки на основе опилок и соломы обладают крайне низкой степенью разложения при традиционном двухмесячном компостировании, что связано с высокой устойчивостью лигнина и целлюлозы

к микробной деградации (Zhang et al., 2022). В отличие от них, торф и его смеси демонстрируют значительно более высокие абсорбционные и биотрансформационные характеристики, ускоряя процесс стабилизации органической массы и обеспечивая более равномерное разложение (Heinonen-Tanski, 2001). Использование торфа позволяет снизить время компостирования и улучшить санитарно-гигиенические свойства продукта за счет эффективного удержания влаги, аммиака и патогенов.

Конский навоз, формируемый при содержании лошадей на опилочной подстилке, представляет собой особенно сложный объект переработки. В типовых условиях содержания содержание древесных опилок в свежем навозе может достигать 50 %, что существенно замедляет процессы биодegradации. Древесные компоненты, обладающие высокой лигноцеллюлозной плотностью, требуют направленного микробного воздействия с привлечением специализированных ферментативных комплексов — целлюлаз, лигназ и пероксидаз (Zhang et al., 2022). В отсутствие таких механизмов биоconversion продолжительность полного разложения древесной массы может измеряться десятилетиями.

Попытки решения данной проблемы предпринимались в рамках российских разработок. Так, Беловеж (2019) предложил способ утилизации древесных опилок путем инокуляции их консорциумом активных микроорганизмов с последующим получением органоминерального компоста. Проведенные агробиологические испытания показали, что полученный субстрат обладает высоким уровнем агрономической эффективности: в частности, отмечено увеличение длины и биомассы растений, особенно выраженное в корневой зоне, что свидетельствует о повышенной биодоступности макроэлементов.

Суммируя текущие данные, можно утверждать, что успешная деструкция органического сырья, содержащего трудноразлагаемые компоненты, требует учета комплекса факторов: вид животного и физиологические особенности экскрементов; тип и структура подстилочного материала; температурный режим и аэробные/анаэробные условия; состав и функциональная активность микробных консорциумов. Как показывают исследования Guo et al. (2019) и Yin et al. (2024), именно взаимодействие этих параметров определяет не только степень минерализации и превращение органи-

ческого вещества в гумусоподобные структуры, но и уровень эмиссии парниковых газов в процессе компостирования. При этом в существующей научной литературе сохраняется концептуальный пробел в части системного изучения деструкции именно конского навоза с высоким содержанием опилок. Отсутствует достаточное количество экспериментальных подтверждений эффективности ускоренной биотрансформации этого вида субстрата в ценный органический продукт.

Настоящее исследование направлено на устранение указанного дефицита. Его новизна заключается в том, что в фокус помещена комбинированная система: конский навоз и древесные опилки как подстилка. Изучается влияние биопрепаратов различного состава, подобранных с учетом их технологических параметров и доступности применения, на скорость и полноту деструкции этой сложной органической смеси. Полученные результаты могут лечь в основу оптимизации переработки органических отходов в коневодстве и разработке универсальных технологических решений для навозосодержащих компостов с древесной фракцией.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объект и место проведения исследования

Исследование проводилось в летний период 2024 года на базе учебной лаборатории коневодства Вятского государственного агротехнологического университета (г. Киров). Экспериментальная площадка располагалась на территории городской конюшни, где содержалось 25 лошадей различного возраста (от 1 до 17 лет) и пород. Животные находились в индивидуальных денниках, получали рацион из сена (до 2 % от живого веса), овса (до 1 %), а также витаминно-минеральные добавки. Подстилка в денниках представляла собой древесный опил хвойных пород с размером частиц 0,5–1 см и влажностью от 18 % до 30 %.

Объектом исследования служил свежий конский навоз с древесной подстилкой. Навоз включал около 50 % органических выделений (фекалии и моча) и 50 % опила. Предметом исследования были биопрепараты, содержащие термофильные микроорганизмы, применяемые для ускорения компостирования.

Биопрепараты

В работе использовались четыре коммерческих биопрепарата:

- (1) Феркон Д: содержит ферменты, молочнокислые бактерии, дрожжи;
- (2) Феркон ДН: включает компоненты Феркона Д, дополненные веществами для подавления личинок мух и хрущака;
- (3) Биолатик универсал (*Biolatic Universal*): мультибактериальный комплекс, предназначенный для переработки навоза и помета;
- (4) Байкал ЭМ-1: содержит молочнокислые бактерии, сахаромицеты, актиномицеты и продукты их метаболизма, ориентированные на улучшение структуры и плодородия почвы. Препараты вносились в соответствии с инструкциями производителей. Нормы внесения для «Феркон Д» и «Феркон ДН» представлены в Таблице 1.

Таблица 1
Нормы внесения биопрепаратов в зависимости от температуры и желаемого срока компостирования

Table 1
Application Rates of Fercon D and Fercon DN Depending on Ambient Temperature and Desired Composting Period

Условия	Сухая фракция (2–3 мес.)	Сухая фракция (3–4 мес.)	Жидкая фракция (2–3 мес.)	Жидкая фракция (3–4 мес.)
До +15 °C	15 м³	30 м³	30 м³	60 м³
От +15 °C	30 м³	60 м³	50 м³	100 м³

Примечание. Сухая фракция — это твёрдый навоз с древесной или соломенной подстилкой. Жидкая фракция — навоз с минимальным содержанием подстилки или навозные стоки. Чем выше температура окружающей среды, тем больше допустимый объем субстрата на 1 кг препарата. Снижение температуры требует увеличения дозировки для поддержания микробной активности.

Note. The solid fraction refers to manure with a high content of bedding material such as wood shavings or straw. The liquid fraction refers to manure with minimal bedding content or slurry. The higher the ambient temperature, the greater the permissible volume of substrate per 1 kg of the preparation. Lower temperatures require increased dosage to maintain microbial activity.

Организация эксперимента

Закладка буртов
30 мая 2024 года было сформировано пять стационарных буртов по 3 м³ каждый, содержащих равномерно перемешанный конский навоз с древесной подстилкой. Навоз заготавливался в течение месяца (30 апреля — 30 мая). Распределение биопрепаратов по буртам было следующим:

- (1) Бурт №1 — Феркон Д;
- (2) Бурт №2 — Феркон ДН;
- (3) Бурт №3 — Биолатик универсал;
- (4) Бурт №4 — Байкал ЭМ-1;
- (5) Бурт №5 — контроль (без обработки).

Бурты были размещены на выровненной площадке под навесом для защиты от осадков. Расстояние между буртами составляло не менее 2 метров для минимизации микроклиматических взаимодействий. Размещение представлено на Рисунке 1.

Рисунок 1
Схема пространственного размещения опытных буртов на экспериментальной площадке

Figure 1
Layout of Experimental Piles on the Experimental Site



Условия компостирования
Компостирование продолжалось 60 суток. Бурты не поливались и не дополнялись в течение всего периода. Перемешивание проводилось вручную один раз в неделю. Температурный контроль осуществлялся ежедневно цифровым термометром для компоста, с измерениями на трех уровнях (верх, середина, низ).

Биотест: анализ роста растений

По завершении компостирования из каждого бурта отбирали субстрат, который смешивали с почвой в соотношении 1:1. Смеси использовались для проращивания кресс-салата (*Lepidium sativum*) и шпината (*Spinacia oleracea*). Всего было проведе-

но 3 параллельных биотеста на каждый субстрат (5 буртов × 2 культуры × 7 растений = 70 растений). Длина проростков измерялась на 10-е сутки после посева. Среднее значение рассчитывалось по 7 проросткам на каждый вариант.

Химический анализ

Для оценки агрономической ценности компостов проводилось определение содержания водорастворимых форм фосфора и калия. Метод — капиллярный электрофорез на приборе «Капель-105М» (LUMEX) по ТУ 4215–302-45549798–2015. Калибровка производилась по сертифицированным стандартам. Анализы выполнялись в трех повторностях, результаты выражались в пересчете на оксидные формы: P_2O_5 и K_2O . Параметры электрофоретического анализа приведены в Приложении А.

Статистическая обработка данных

Данные по росту растений и содержанию элементов в компостах были обработаны с использованием Microsoft Excel (версия 2021). Для оценки значимости различий между вариантами применялся t-критерий Стьюдента для независимых выборок. Статистическая значимость фиксировалась на уровнях: $p < 0.05$ — значимое различие; $p < 0.01$ и $p < 0.001$ — высоко и крайне значимые различия (указаны в таблицах и графиках). Результаты представлены в формате: среднее значение ± стандартная ошибка ($M \pm SE$).

Этапы исследования

Исследование включало три этапа:

- (1) Подготовительный этап — отбор и закладка буртов с навозом, внесение биопрепаратов по рекомендованным нормам.
- (2) Компостирование — 60-дневный период без вмешательства, с регулярным перемешиванием и контролем температуры.
- (3) Оценка эффективности — агробиологические тесты на всхожесть, лабораторный анализ макроэлементов, статистическая обработка данных.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Оценка биотермической активности компостируемых буртов

Температурная динамика

Во всех опытных буртах после внесения биопрепаратов наблюдалось повышение температуры, что свидетельствует об активизации микробиологических процессов. Наибольший температурный пик был зафиксирован в бурте №2 (Феркон ДН), где температура через 7 суток достигла 41 °С, превысив исходный уровень на 11 °С. В буртах №3 и №4 (Биолатик универсал и Байкал ЭМ-1 соответственно) также наблюдалось интенсивное прогревание — до 39–40 °С. В бурте №1 (Феркон Д) температура поднялась лишь до 35 °С. В контрольном бурте №5 также наблюдалось начальное повышение температуры, но уже к концу первого месяца фиксировалось ее резкое снижение на 15 °С по сравнению с максимумом (Таблица 2, Таблица 3).

Таблица 2

Изменение температуры в буртах, °С, 2024

Table 2

Temperature Change in the Piles, °C, 2024

Показатель	Бурт				
	№1	№2	№3	№4	№5
Температура в начале опыта °С	30	30	30	30	30
Температура через неделю после закладки опыта	35	41	39	40	39
Разница с предыдущим измерением ±	+5	+11	+9	+10	+9
Температура через 1 месяц после закладки опыта	28	33	32	38	41
Разница с предыдущим измерением ±	-7	-8	-7	-2	+2
Температура через 2 месяца после закладки опыта	25	27	24	29	26
Разница с предыдущим измерением ±	-3	-6	-8	-9	-15

Примечание. Биопрепараты №1 Феркон Д, №2 Феркон ДН, №3 Биолатик-универсал, №4 Байкал ЭМ-1, №5 Контроль.

Note. Biopreparations: No. 1 — Ferkon D, No. 2 — Ferkon DN, No. 3 — Biolatic Universal, No. 4 — Baikal EM-1, No. 5 — Control.

Таблица 3
Показатели температуры в буртах, °C, 2024, (*M* ± *SE*)
Table 3
Temperature Indicators in the Piles, °C, 2024, (*M* ± *SE*)

Показатель	Бурт				
	№1	№2	№3	№4	№5
Температура min	25	27	24	29	26
Температура max	35	41	39	40	41
Разница между min и max	10	14	15	11	15
Температура в среднем за период опыта	29,5 ± 1,7	32,8 ± 2,4	31,3 ± 2,4	34,3 ± 2,7	34,0 ± 3,4
Коэффициент изменчивости температуры, %	10,2	13,0	13,6	13,9	17,6

Среднее значение температуры за период компостирования было максимальным в бурте №4 (34,3 ± 2,7 °C), что подтверждает более продолжительную термофильную фазу. Наименьший температурный разброс отмечен в бурте №1 (коэффициент вариации 10,2 %), наибольший — в контрольном варианте (17,6 %). Подробные значения приведены в Таблицах 2 и 3 и на Рисунке 2.

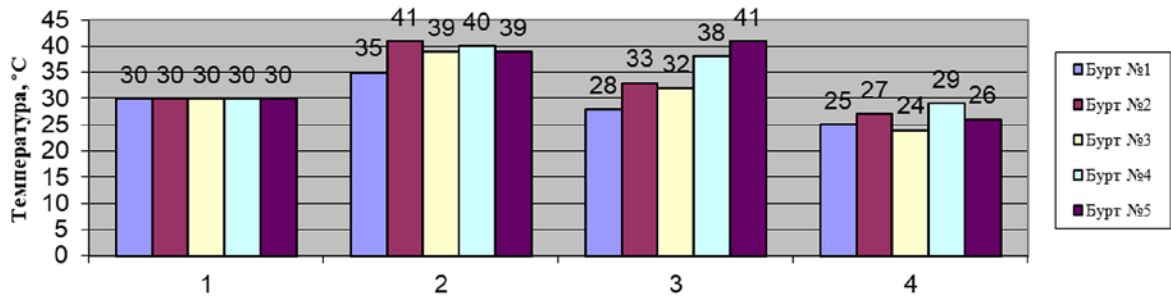
Усадка буртов и визуальные характеристики

Сравнительный анализ степени усадки показал, что наиболее интенсивное уменьшение объема происходило в бурте №2 (Феркон ДН). Через 30 суток высота бурта сократилась до 68,6 % от исходной, а объём — до 83,1 %, что соответственно на 11,1 % и 3,8 % меньше, чем в контроле (Таблица 4). Визуальные наблюдения подтверждали более активную деструкцию: бурты №2 и №4 отличались более

Таблица 4
Измерение усадки буртов, см
Table 4
Measurement of Piles Shrinkage, cm

Показатель	Бурт				
	№1	№2	№3	№4	№5
<i>В начале опыта</i>					
Высота	69	70	68	70	69
Объем	320	325	322	324	322
<i>Через 10 дней</i>					
Высота	65	60	60	62	65
Объем	310	305	310	312	306
<i>Через месяц</i>					
Высота	53	48	54	52	55
Объем	280	270	285	282	280

Рисунок 2
Изменение температуры в буртах во время опыта
Figure 2
Temperature Change in the Piles during the Experiment



Примечание. Период измерения (1 – в начале опыта, 2 – через неделю, 3 – через месяц, 4 – через два месяца после начала опыта).
Note. Measurement period (1 – at the beginning of the experiment, 2 – after a week, 3 – after a month, 4 – two months after the beginning of the experiment).

темным цветом и рыхлой структурой по сравнению с контрольным и другими опытными вариантами.

Агрономическая ценность зрелого компоста (биоанализ)

Всхожесть и длина проростков

Биотесты на кресс-салате и шпинате позволили оценить фитотоксичность и питательные свойства полученных субстратов. В среднем по всем опытными буртам отмечена высокая всхожесть: 85,3% для кресс-салата и 38,2% для шпината. Это существенно превышает показатели контрольного бурта (60% и 25% соответственно), что указывает на лучшую ферментацию и снижение токсичности навоза после применения биопрепаратов.

Наибольшая длина проростков кресс-салата зафиксирована в буртах №2 (Феркон ДН) — $15,64 \pm 0,22$ см и №3 (Биолатик универсал) — $14,29 \pm 0,49$ см,

что статистически достоверно выше ($p < 0,001$), чем в других вариантах. Минимальные значения отмечены в контроле — $5,25 \pm 0,35$ см.

Аналогичная тенденция наблюдалась и по шпинату: максимальная длина — $3,86 \pm 0,16$ см в бурте №2, минимальная — $2,65 \pm 0,10$ см в контроле. Различия между контрольным и обработанными вариантами были статистически значимы ($p < 0,001$).

Химический состав зрелого компоста

Содержание водорастворимого калия

По результатам капиллярного электрофореза наибольшее содержание водорастворимого калия определено в образце из бурта №2 (Феркон ДН): 0,19% или 0,1577% в пересчёте на K_2O . Это на 0,06% выше контрольного значения. Минимальный уровень калия зафиксирован в бурте №3 (Биолатик универсал) — 0,12% (0,0996% в пересчёте на K_2O), Таблица 6.

Таблица 5

Показатели роста растений на биопрепаратах, $n = 7$, ($M \pm SE$), см

Table 5

Growth Indicators of Plants on Biological Preparations, $n = 7$, ($M \pm SE$), cm

Показатель	Бурт				
	№1	№2	№3	№4	№5
Длина кресс-салата min	6,4	13,3	12,0	6,5	4,4
Длина кресс-салата max	9,0	18,5	16,5	9,0	6,2
Средняя длина кресс-салата	$7,57 \pm 0,28$	$15,64 \pm 0,22$	$14,29 \pm 0,49$	$7,64 \pm 0,30$	$5,25 \pm 0,35$
Длина шпината min	2,4	3,3	2,6	2,4	2,3
Длина шпината max	3,4	4,6	3,6	3,4	3,2
Средняя длина шпината	$2,86 \pm 0,12$	$3,86 \pm 0,16$	$3,00 \pm 0,15$	$2,86 \pm 0,12$	$2,65 \pm 0,10$

Примечание. Биопрепараты № 1 Феркон Д, № 2 Феркон ДН, № 3 Биолатик-универсал № 4 Байкал ЭМ-1, № 5 Контроль.

Note. Biopreparations: No. 1 — Ferkon D, No. 2 — Ferkon DN, No. 3 — Biolatic Universal, No. 4 — Baikal EM-1, No. 5 — Control.

Таблица 6

Содержание водорастворимых форм калия в зрелом компосте (% $M \pm SE$)

Table 6

Content of Water-Soluble Forms of Potassium in Mature Compost (% $M \pm SE$)

Наименование катиона	Пробы				
	№1	№2	№3	№4	№5
Калий	0,15 (0,1245)	0,19 (0,1577)	0,12 (0,0996)	0,14 (0,1162)	0,13 (0,1079)

Примечание. Биопрепараты №1 Феркон Д, №2 Феркон ДН, № 3 Биолатик-универсал №4 Байкал ЭМ-1, №5 Контроль.

Note. Biopreparations: No. 1 — Ferkon D, No. 2 — Ferkon DN, No. 3 — Biolatic Universal, No. 4 — Baikal EM-1, No. 5 — Control.

Таблица 7
Содержание водорастворимых фосфора в зрелом компосте (% , $M \pm SE$)
Table 7
Content of Water-Soluble Phosphorus in Mature Compost (% , $M \pm SE$)

Наименование катиона	Пробы				
	№1	№2	№3	№4	№5
Фосфор	0,23 (0,1718)	0,28 (0,2092)	0,20 (0,1492)	0,27 (0,2017)	0,30 (0,2241)

Примечание. №1 Феркон Д, №2 Феркон ДН, № 3 Биолатик универсал №4 Байкал ЭМ-1, №5 Контроль.
Note. No. 1 – Ferkon D, No. 2 – Ferkon DN, No. 3 – Biolatic Universal, No. 4 – Baikal EM-1, No. 5 – Control.

Содержание водорастворимого фосфора

Наибольшее содержание фосфора наблюдалось в контрольном бурте (0,30 %, или 0,2241 % в пересчете на P₂O₅) и в бурте №2 (0,28 %, или 0,2092 %). При этом в образце №3 (Биолатик универсал) уровень был минимальным — 0,20 % (0,1492 %), Таблица 7.

При измерении массовой доли водорастворимых форм фосфора в навозе установили наибольший показатель в бурте №2 (Феркон ДН) и контроле соответственно — 0,28% (0,2092 %) и 0,30% (0,2241 %). Наименьший показатель был отмечен в опытном бурте №3, то есть с применением Биолатик–универсал.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Цель настоящего исследования заключалась в оценке эффективности микробиологических препаратов различного состава при компостировании конского навоза с древесной подстилкой. Особое внимание уделялось биотермической активности, химическим характеристикам зрелого компоста и его агрономической ценности при использовании в качестве субстрата для роста растений. Проведённый эксперимент позволил сопоставить эффективность четырёх биопрепаратов и установить закономерности их воздействия на скорость деструкции органического материала, динамику макроэлементов и параметры фитотоксичности.

Результаты температурного мониторинга подтвердили, что применение микробных препаратов стимулирует более быстрое и интенсивное начало термофильной фазы по сравнению с контролем. Наиболее выраженное повышение температуры

зафиксировано в бурте №2, обработанном препаратом Феркон ДН: температура в нём через неделю после закладки достигла 41 °С, что на 11 °С выше начального уровня. Устойчивое удержание температуры в течение первого месяца и выраженная усадка бурта позволяют интерпретировать данные как свидетельство высокой микробиологической активности и глубокой минерализации органической массы.

Аналогичные эффекты микробной активации термофильной фазы описаны в ряде работ, где подчеркивается значение бактериальной инокуляции для ускорения компостирования (Wang et al., 2021, 2024). Прямое сопоставление возможно с результатами Федорова и соавт. (2010), где применение комплексного микробного состава обеспечивало устойчивое прогревание буртов до 40–70 °С. В настоящем исследовании температурные пики были ниже, однако достигались быстрее, что может быть связано с регулярным ручным перемешиванием и спецификой субстрата, включающего древесную подстилку.

Биотестирование на шпинате и кресс-салате продемонстрировало, что зрелый компост, полученный в результате микробной ферментации, обладает высокой агрономической ценностью. Во всех опытных вариантах наблюдалась повышенная всхожесть и большая средняя длина проростков по сравнению с контролем, где не использовались биопрепараты. Максимальные значения длины растений зафиксированы в варианте с Феркон ДН, что свидетельствует не только об эффективности деструкции органики, но и о формировании биологически активного субстрата с низкой остаточной токсичностью. Такие показатели соответствуют ожидаемому действию ферментативных и молочнокислых штаммов, входящих в состав

препарата. Химический анализ зрелых компостов показал, что биопрепараты способствуют увеличению содержания водорастворимых форм калия и фосфора. Особенно выраженное повышение концентрации калия наблюдалось при применении Феркон ДН (0,19%, или 0,1577% в пересчете на K_2O). Содержание доступного фосфора в этом же варианте составило 0,28% (0,2092% в пересчете на P_2O_5), что несколько уступает контрольному значению (0,30%), однако остаётся на высоком уровне и может быть обусловлено активностью фосфатмобилизирующих бактерий, входящих в состав препарата. Как отмечают Jiang и Wang (2024), способность микробных сообществ трансформировать органический фосфор в доступные формы является важным условием повышения ценности компоста как удобрения.

Сравнение с предыдущими исследованиями позволяет более точно интерпретировать полученные результаты и определить вклад настоящего исследования в развитие подходов к утилизации органических отходов. В исследованиях Wang et al. (2021, 2024) показано, что метод микробной инокуляции повышает интенсивность ферментативной активности и сокращает продолжительность компостирования. Эти наблюдения согласуются с температурной динамикой и степенью усадки, зафиксированными в нашем эксперименте, особенно в варианте с Феркон ДН. В разработке Федорова и соавт. (2010) отмечается, что использование комплексного микробного состава способствует продолжительной термофильной фазе, однако температурные пики там достигаются на более позднем этапе и сопровождаются глубинным прогревом. Различие в термических профилях, вероятно, объясняется как спецификой субстрата, так и методикой компостирования.

Большинство исследований ориентированы на переработку навоза крупного рогатого скота, свиней и птицы (Chen et al., 2021; Liu et al., 2023; Su et al., 2024), в то время как деструкция конского навоза с древесной подстилкой остаётся малоизученной. Устойчивость лигноцеллюлозных компонентов к микробной биodeградации неоднократно подчеркивается в литературе (Lynd et al., 2002; Zhang, G. et al., 2022), что делает обоснованным использование целлюлозолитических ферментов и специализированных бактериальных штаммов. Однако, применение препаратов Феркон Д, Феркон ДН,

Биолатик универсал и Байкал ЭМ-1 к переработке именно конского навоза с опилками ранее не описывалось.

В отличие от более ранних подходов, разработанных для других типов навоза, включая птицеводческий (Чекакина и др., 1993) и коровий (Тарабукина и др., 1996), настоящее исследование демонстрирует прикладной потенциал адаптированных микробных препаратов для субстрата с высокой долей лигнина и целлюлозы. Наличие в составе Феркон ДН целлюлазы и *Bacillus thuringiensis*, обладающего инсектицидной активностью, позволяет обеспечить не только ускоренную деструкцию, но и дополнительную биозащиту от личинок мух, что повышает санитарную безопасность полученного компоста. Полученные результаты позволяют утверждать, что при правильном подборе бактериального препарата возможно значительное сокращение сроков компостирования (до двух месяцев), достижение стабильной термофильной фазы и формирование зрелого, агрономически ценного субстрата. Применение препарата Феркон ДН оказалось наиболее результативным по совокупности термобиологических, агрономических и химических параметров.

Вместе с тем, интерпретация данных ограничена отсутствием биологических повторов, что снижает степень статистической уверенности. Кроме того, исследование не включало микробиологическую диагностику зрелости компоста и санитарно-гигиеническую оценку, что представляет перспективное направление для последующих исследований. Целесообразным также представляется расширение спектра тест-культур, а также апробация препаратов на иных типах органического сырья.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Настоящее исследование было направлено на комплексную оценку эффективности четырёх микробиологических препаратов, применяемых для ускорения компостирования конского навоза с древесной подстилкой. Полученные результаты свидетельствуют о положительном влиянии биопрепаратов на ключевые параметры компостирования: интенсификацию термофильной фазы, повышение степени микробиологической деструкции органи-

ческой массы и улучшение агрономической ценности зрелого компоста.

Наиболее высокие показатели по совокупности термобиологических, агрохимических и биологических параметров были зафиксированы при использовании препарата Феркон ДН. Его применение обеспечивало максимальное повышение температуры в буртах, ускоренное разложение органической фракции, увеличение содержания водорастворимых форм калия и фосфора, а также стимулирование роста модельных культур. Эти результаты позволяют рассматривать Феркон ДН как перспективный препарат для локального применения в системе малотоннажной переработки навоза, особенно в условиях ограниченных производственных ресурсов. Однако широкое внедрение требует предварительной валидации в расширенных полевых и производственных условиях.

Продолжение исследований целесообразно в направлении включения микробиологического анализа зрелого компоста, оценки безопасности полученных субстратов по санитарно-гигиеническим и токсикологическим показателям, а также определения содержания тяжёлых металлов. Важным направлением является проверка эффективности препаратов при компостировании других типов органического сырья, в частности, птичьего помета, навоза крупного рогатого скота и их смесей.

Существенным методологическим ограничением настоящей работы является отсутствие биологических повторов по каждому экспериментальному варианту, что ограничивает возможности строгой статистической верификации полученных различий. Кроме того, биотестирование проводилось в контролируемых условиях с использованием ограниченного числа культурных растений, что снижает экстраполируемость результатов на более широкий спектр агрономических сценариев.

При создании и адаптации микробиологических препаратов для деструкции конского навоза с лигноцеллюлозной подстилкой следует учитывать необходимость включения целлюлозорасщепляющих микроорганизмов, а также штаммов, устойчивых к низким температурам, что особенно актуально для регионов с продолжительным холодным сезоном. Особое внимание следует уделять формированию стабильных микробных консорциумов с направленной ферментативной активностью и потенциалом подавления патогенной микрофлоры.

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Усманова Елена Николаевна: концепция исследования; проведение исследования; анализ данных; подготовка рукописи.

Кузякина Людмила Ивановна: проведение исследования; анализ данных; подготовка рукописи.

Втюрина Марина Николаевна: проведение лабораторных исследований; интерпретация лабораторных исследований.

AUTHORS CONTRIBUTION

Usmanova Elena Nikolaevna: conceptualization; investigation; data analysis; writing — original draft preparation; writing — review & editing.

Kuzyakina Lyudmila Ivanovna: investigation; data analysis; writing — original draft preparation; writing — review & editing.

Vtyurina Marina Nikolaevna: investigation; formal analysis.

ЛИТЕРАТУРА

- Беловежец, Л. А. (2019). *Способ утилизации древесных опилок с применением композиции деструктурирующих микроорганизмов для получения комплексного органо-минерального удобрения* (Патент РФ № 2701942 С1). Российская Федерация. Заявитель: Иркутский институт химии им. А. Е. Фаворского СО РАН. https://yandex.ru/patents/doc/RU2701942C1_20191002
- Тарабукина, Н. П., Неустроев, М. П., Парникова, С. И., & Степанов, А. И. (1996). *Штамм бактерий *Bacillus subtilis*, используемый для обеззараживания птичьего помета и навоза от патогенных микроорганизмов* (Патент РФ № 2105810 С1). Российская Федерация. Заявитель: Научно-производственное объединение «Якутское» СО РАСХН.
- Федоров, А. Б., Кулагина, Е. М., & Титова, В. Ю. (2012). *Способ получения биокомпоста на основе навоза крупного рогатого скота* (Патент РФ № 2445296 С1). Российская Федерация, МПК C05F 3/00, C05F 11/08, C12N 1/20. Заявка № 2010135319/13 от 23.08.2010; опубликован 20.03.2012. Заявитель: ООО «СКАРАБЕЙ». https://yandex.ru/patents/doc/RU2445296C1_20120320
- Чекакина, Е. В., Лежнев, М. А., Слынько, В. И. [и др.]. (1996). *Способ биологической переработки птичьего помета* (Патент РФ № 2055823 С1). Российская Федерация, МПК C05F 11/08, C12P 39/00. Заявка № 93030782/13 от 17.06.1993; опубликован 10.03.1996.
- Abdugheni, R., Li, L., Yang, Z.-N., Huang, Y., Fang, B.-Z., Shurigin, V., Mohamad, O. A. A., Liu, Y. H., & Li, W.-J. (2023). Microbial risks caused by livestock excrement: Current research status and prospects. *Microorganisms*, 11(8), 1897. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11081897>
- Aguilar-Paredes, A., Valdés, G., Araneda, N., Valdebenito, E., Hansen, F., & Nuti, M. (2023). Microbial community in the composting process and its positive impact on the soil biota in sustainable agriculture. *Agronomy*, 13(2), 542. <https://doi.org/10.3390/agronomy13020542>
- Alegbeleye, O.O., & Sant'Ana, A.S. (2020). Manure-borne pathogens as an important source of water contamination: An update on the dynamics of pathogen survival/transport as well as practical risk mitigation strategies. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 227, 113524. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2020.113524>
- Bhave, P. P., & Kulkarni, B. N. (2019). Effect of active and passive aeration on composting of household biodegradable wastes: A decentralized approach. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 8, 335–344. <https://doi.org/10.1007/s40093-019-00306-7>
- De Maayer, P., Anderson, D., Cary, C., & Cowan, D.A. (2014). Some like it cold: Understanding the survival strategies of psychrophiles. *EMBO Reports*, 15(5), 508–17. <https://doi.org/10.1002/embr.201338170>
- Chen, X., Liu, R., Hao, J., Li, D., Wei, Z., Teng, R., & Sun, B. (2019). Protein and carbohydrates drive microbial responses in diverse ways during different animal manure composting. *Bioresource Technology*, 271, 482–486. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.09.096>
- Chen, X., Cheng, W., Li, S., Tang, X., & Wei, Z. (2021). The “quality” and “quantity” of microbial species drive the degradation of cellulose during composting. *Bioresource Technology*, 320(Pt B), 124425. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.124425>
- Gómez, X., Blanco, D., Lobato, A., Calleja, A., Martínez-Núñez, F., & Martín-Villacorta, J. (2011). Digestion of cattle manure under mesophilic and thermophilic conditions: Characterization of organic matter applying thermal analysis and ¹H NMR. *Biodegradation*, 22(3), 623–635. <https://doi.org/10.1007/s10532-010-9436-y>
- Guo, X. X., Liu, H. T., & Wu, S. B. (2019). Humic substances developed during organic waste composting: Formation mechanisms, structural properties, and agronomic functions. *The Science of the Total Environment*, 662, 501–510. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.137>
- Hadin, S., & Eriksson, O. (2016). Horse manure as feedstock for anaerobic digestion. *Waste Management*, 56, 506–518. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.06.023>
- Heinonen-Tanski, H. (2001). Quality of different bedding materials and their influence on the compostability of horse manure. *Journal of Equine Veterinary Science*, 21(3) 125–130. [https://doi.org/10.1016/S0737-0806\(01\)70108-6](https://doi.org/10.1016/S0737-0806(01)70108-6)

- Heinonen-Tanski, H., Mohaibes, M., Karinen, P., & Koivunen, J. (2006). Methods to reduce pathogen microorganisms in manure. *Livestock Science*, 102, 248–255. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2006.03.024>
- Jiang, X., & Wang, J. (2024). Biological control of *Escherichia coli* O157:H7 in dairy manure-based compost using competitive exclusion microorganisms. *Pathogens*, 13(5), 361. <https://doi.org/10.3390/pathogens13050361>
- Kumawat, A., Kumar, D., Shivay, Y.S., Bhatia, A., Rashmi, I., Yadav, D., & Kumar, A. (2023). Long-term impact of biofertilization on soil health and nutritional quality of organic basmati rice in a typical ustchrept soil of India. *Frontiers in Environmental Science*, 11, 1031844. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1031844>
- Lalthlansanga, C., Pottipati, S., Sreeram Meesala, N., Mohanty, B., & Kalamdhad, A. S. (2023). Evaluating the potential of biodegradation of swine manure through rotary drum composting utilizing different bulking agents. *Bioresource Technology*, 388, 129751. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2023.129751>
- Li, Y., Zhang, G., Xu, P., Zhou, S., Li, Y., Ma, L., Yang, Z., & Wu, Y. (2022). Effects of exogenous bacterial agents on material transformation and microbial community composition during composting of tomato stalks. *Sustainability*, 14(23), 16284. <https://doi.org/10.3390/su142316284>
- Li, Y., Li, J., Chang, Y., Li, R., Zhou, K., Zhan, Y., Wei, R., & Wei, Y. (2023). Comparing bacterial dynamics for the conversion of organics and humus components during manure composting from different sources. *Frontiers in Microbiology*, 14, 1281633. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1281633>
- Liu, G.L., Yang, Y., Ma, R.N., Jiang, J.H., Li, G.X., Wang, J.N., Wuyun, D.L., & Yuan, J. (2023). Thermophilic compost inoculating promoted the maturity and mature compost inoculating reduced the gaseous emissions during co-composting of kitchen waste and pig manure. *Environmental Technology & Innovation*, 32, 103427. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2023.103427>
- Liu, X., Rong X., Yang J., Li H., Hu W. & Yang Y., Jiang G., Xiao R., Deng X., Xie G., Luo G., Zhang J. (2023). Community succession of microbial populations related to CNPS biological transformations regulates product maturity during cow-manure-driven composting. *Bioresource Technology*, 369, 128493. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.128493>
- Lynd, L. R., Weimer, P. J., van Zyl, W. H., & Pretorius, I. S. (2002). Microbial cellulose utilization: fundamentals and biotechnology. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 66(3), 506–577. <https://doi.org/10.1128/MMBR.66.3.506-577.2002>
- Payura, R. (2023). Composting of solid household waste and animal manure in response to the current fertilizer crisis — A Recent Review. *Science of the Total Environment*, 912(15), 169221. <https://doi.org/10.1016/J.scitotenv.2023.169221>
- Sarwari, A., Abdieva, G. Z., Hassand, M. H., Mohammad, U. K., & Niazi, P. (2024). Role of microbial communities in compost and plant growth: Structure and function. *European Journal of Theoretical and Applied Sciences*, 2(2), 23–37. [https://doi.org/10.59324/ejtas.2024.2\(2\).03](https://doi.org/10.59324/ejtas.2024.2(2).03)
- Su, L., Ren, K., Zhang, Y., & Zhang, L. (2024). Research on the composting technology of cattle and sheep manure based on intelligent and efficient composting equipment and the evaluation standard of decomposition degree. *Fermentation*, 10(7), 328. <https://doi.org/10.3390/fermentation1007032>
- Sun, Q., Wu, D., Zhang, Z., Zhao, Y., Xie, X., Wu, J., Lu, Q., & Wei, Z. (2017). Effect of cold-adapted microbial agent inoculation on enzyme activities during composting start-up at low temperature. *Bioresource Technology*, 244(Pt 1), 635–640. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.08.010>
- Sun, Q., Zhao, Y., Zhang, H., Mohamed, T. A., & Wei, Z. (2021). The key bacteria as the “Activator” promotes the rapid degradation of organic compounds during the start-up of low-temperature compost. *Bioresource Technology*, 330, 124950. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.124950>
- Vander Zaag A., Baldé H. (2022). Nutrient recovery abates methane emissions from digestate storage. *Bioresource Technology Reports*, 18, 101086. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2022.101086>
- Wang, X., Wan, J., Jiang, G., Yang, T., Banerjee, S., Wei, Z., Mei, X., Friman, V. P., Xu, Y., & Shen, Q. (2021). Compositional and functional succession of bacterial and fungal communities

- is associated with changes in abiotic properties during pig manure composting. *Waste Management*, 131, 350–358. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.06.023>
- Wang, W. K., & Liang, C. M. (2021). Enhancing the compost maturation of swine manure and rice straw by applying bioaugmentation. *Scientific Reports*, 11(1), 6103. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-85615-6>
- Wang, L., Li, Y., & Li, X. (2024). Microbe-aided thermophilic composting accelerates manure fermentation. *Frontiers in Microbiology*, 15, 1472922. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1472922>
- Yin, J., Xie, M., Yu, X., Feng, H., Wang, M., Zhang, Y., & Chen, T. (2024). A review of the definition, influencing factors, and mechanisms of rapid composting of organic waste. *Environmental Pollution*, 342, 123125. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.123125>
- Nleya, Y., Young, B., Nooraee, E., & Baroutian, S. (2024). Anaerobic digestion of dairy cow and goat manure: Comparative assessment of biodegradability and greenhouse gas mitigation. *Fuel*, 381, Part B, 133458. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2024.133458>
- Zhang, G., & Dong, Y. (2022). Design and application of an efficient cellulose-degrading microbial consortium and carboxymethyl cellulase production optimization. *Frontiers in Microbiology*, 13, 957444. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.957444>
- Zhang, Z., Wang, B., Chen, C., Zou, X., Cheng, T., & Li, J.-H. (2023). Aerobic co-composting of mature compost with cattle manure: Organic matter conversion and microbial community characterization. *Bioresource Technology*, 382, 129187. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2023.129187>

REFERENCES

- Belovezhets, L. A. (2019). *Method for the disposal of wood shavings using a composition of wood-degrading microorganisms to produce a complex organo-mineral fertilizer* (RU Patent No. 2701942 C1). Russian Federation. Applicant: A. E. Favorsky Irkutsk Institute of Chemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences. https://yandex.ru/patents/doc/RU2701942C1_20191002
- Tarabukina, N. P., Neustroev, M. P., Parnikova, S. I., & Stepanov, A. I. (1996). *Strain of bacterium Bacillus subtilis used for disinfection of avian dung and manure from pathogenic microorganisms* (RU Patent No. 2105810 C1). Russian Federation. Applicant: Yakut Scientific and Production Association of the Russian Academy of Agricultural Sciences.
- Fedorov, A. B., Kulagina, E. M., & Titova, V. Y. (2012). *Method of producing biocompost based on cattle dung* (RU Patent No. 2445296 C1). Russian Federation, IPC C05F 3/00, C05F 11/08, C12N 1/20. Application No. 2010135319/13, filed 08/23/2010; published 03/20/2012. Applicant: LLC “Scarabs”. https://yandex.ru/patents/doc/RU2445296C1_20120320
- Chekasina, E. V., Lezhnev, M. A., Slyn'ko, V. I., [et al.]. (1996). *Method of avian dung biological processing* (RU Patent No. 2055823 C1). Russian Federation, IPC C05F 11/08, C12P 39/00. Application No. 93030782/13, filed 06/17/1993; published 03/10/1996.
- Abdugheni, R., Li, L., Yang, Z.-N., Huang, Y., Fang, B.-Z., Shurigin, V., Mohamad, O. A. A., Liu, Y.-H., & Li, W.-J. (2023). Microbial risks caused by livestock excrement: Current research status and prospects. *Microorganisms*, 11(8), 1897. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11081897>
- Aguilar-Paredes, A., Valdés, G., Araneda, N., Valdebenito, E., Hansen, F., & Nuti, M. (2023). Microbial community in the composting process and its positive impact on the soil biota in sustainable agriculture. *Agronomy*, 13(2), 542. <https://doi.org/10.3390/agronomy13020542>
- Alegbeleye, O.O., & Sant'Ana, A.S. (2020). Manure-borne pathogens as an important source of water contamination: An update on the dynamics of pathogen survival/transport as well as practical risk mitigation strategies. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 227, 113524. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2020.113524>

- Bhave, P. P., & Kulkarni, B. N. (2019). Effect of active and passive aeration on composting of household biodegradable wastes: A decentralized approach. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 8, 335–344. <https://doi.org/10.1007/s40093-019-00306-7>
- De Maayer, P., Anderson, D., Cary, C., & Cowan, D.A. (2014). Some like it cold: understanding the survival strategies of psychrophiles. *EMBO Reports*, 15(5), 508–17. <https://doi.org/10.1002/embr.201338170>.
- Chen, X., Liu, R., Hao, J., Li, D., Wei, Z., Teng, R., & Sun, B. (2019). Protein and carbohydrates drive microbial responses in diverse ways during different animal manure composting. *Bioresource Technology*, 271, 482–486. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.09.096>
- Chen, X., Cheng, W., Li, S., Tang, X., & Wei, Z. (2021). The “quality” and “quantity” of microbial species drive the degradation of cellulose during composting. *Bioresource Technology*, 320(Pt B), 124425. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.124425>
- Gómez, X., Blanco, D., Lobato, A., Calleja, A., Martínez-Núñez, F., & Martín-Villacorta, J. (2011). Digestion of cattle manure under mesophilic and thermophilic conditions: Characterization of organic matter applying thermal analysis and ¹H NMR. *Biodegradation*, 22(3), 623–635. <https://doi.org/10.1007/s10532-010-9436-y>
- Guo, X. X., Liu, H. T., & Wu, S. B. (2019). Humic substances developed during organic waste composting: Formation mechanisms, structural properties, and agronomic functions. *The Science of the Total Environment*, 662, 501–510. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.137>
- Hadin, S., & Eriksson, O. (2016). Horse manure as feedstock for anaerobic digestion. *Waste Management*, 56, 506–518. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.06.023>
- Heinonen-Tanski, H. (2001). Quality of different bedding materials and their influence on the compostability of horse manure. *Journal of Equine Veterinary Science*, 21(3) 125–130. [https://doi.org/10.1016/S0737-0806\(01\)70108-6](https://doi.org/10.1016/S0737-0806(01)70108-6)
- Heinonen-Tanski, H., Mohaibes, M., Karinen, P., & Koivunen, J. (2006). Methods to reduce pathogen microorganisms in manure. *Livestock Science*, 102, 248–255. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2006.03.024>
- Jiang, X., & Wang, J. (2024). Biological control of *Escherichia coli* O157:H7 in dairy manure-based compost using competitive exclusion microorganisms. *Pathogens*, 13(5), 361. <https://doi.org/10.3390/pathogens13050361>
- Kumawat, A., Kumar, D., Shivay, Y.S., Bhatia, A., Rashmi, I., Yadav, D., & Kumar, A. (2023). Long-term impact of biofertilization on soil health and nutritional quality of organic basmati rice in a typical ustchrept soil of India. *Frontiers in Environmental Science*, 11, 1031844. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1031844>
- Lalthlansanga, C., Pottipati, S., Sreeram Meesala, N., Mohanty, B., & Kalamdhad, A. S. (2023). Evaluating the potential of biodegradation of swine manure through rotary drum composting utilizing different bulking agents. *Bioresource Technology*, 388, 129751. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2023.129751>
- Li, Y., Zhang, G., Xu, P., Zhou, S., Li, Y., Ma, L., Yang, Z., & Wu, Y. (2022). Effects of exogenous bacterial agents on material transformation and microbial community composition during composting of tomato stalks. *Sustainability*, 14(23), 16284. <https://doi.org/10.3390/su142316284>.
- Li, Y., Li, J., Chang, Y., Li, R., Zhou, K., Zhan, Y., Wei, R., & Wei, Y. (2023). Comparing bacterial dynamics for the conversion of organics and humus components during manure composting from different sources. *Frontiers in Microbiology*, 14, 1281633. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1281633>
- Liu, G.L., Yang, Y., Ma, R.N., Jiang, J.H., Li, G.X., Wang, J.N., Wuyun, D.L., & Yuan, J. (2023). Thermophilic compost inoculating promoted the maturity and mature compost inoculating reduced the gaseous emissions during co-composting of kitchen waste and pig manure. *Environmental Technology & Innovation*, 32, 103427. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2023.103427>
- Liu, X., Rong X., Yang J., Li H., Hu W. & Yang Y., Jiang G., Xiao R., Deng X., Xie G., Luo G., Zhang J. (2023). Community succession of microbial populations related to CNPS biological transformations regulates product maturity during cow-manure-driven composting. *Bioresource Technology*, 369, 128493. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.128493>

- Lynd, L. R., Weimer, P. J., van Zyl, W. H., & Pretorius, I. S. (2002). Microbial cellulose utilization: Fundamentals and biotechnology. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 66(3), 506–577. <https://doi.org/10.1128/MMBR.66.3.506-577.2002>
- Payura, R. (2023). Composting of solid household waste and animal manure in response to the current fertilizer crisis — A Recent Review. *Science of the Total Environment*, 912(15), 169221. <https://doi.org/10.1016/J.scitotenv.2023.169221>
- Sarwari, A., Abdieva, G. Z., Hassand, M. H., Mohammad, U. K., & Niazi, P. (2024). Role of microbial communities in compost and plant growth: Structure and function. *European Journal of Theoretical and Applied Sciences*, 2(2), 23–37. [https://doi.org/10.59324/ejtas.2024.2\(2\).03](https://doi.org/10.59324/ejtas.2024.2(2).03)
- Su, L., Ren, K., Zhang, Y., & Zhang, L. (2024). Research on the composting technology of cattle and sheep manure based on intelligent and efficient composting equipment and the evaluation standard of decomposition degree. *Fermentation*, 10(7), 328. <https://doi.org/10.3390/fermentation1007032>
- Sun, Q., Wu, D., Zhang, Z., Zhao, Y., Xie, X., Wu, J., Lu, Q., & Wei, Z. (2017). Effect of cold-adapted microbial agent inoculation on enzyme activities during composting start-up at low temperature. *Bioresource Technology*, 244(Pt 1), 635–640. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.08.010>
- Sun, Q., Zhao, Y., Zhang, H., Mohamed, T. A., & Wei, Z. (2021). The key bacteria as the “Activator” promotes the rapid degradation of organic compounds during the start-up of low-temperature compost. *Bioresource Technology*, 330, 124950. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.124950>
- VanderZaag A., Baldé H. (2022). Nutrient recovery abates methane emissions from digestate storage. *Bioresource Technology Reports*, 18, 101086. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2022.101086>
- Wang, X., Wan, J., Jiang, G., Yang, T., Banerjee, S., Wei, Z., Mei, X., Friman, V. P., Xu, Y., & Shen, Q. (2021). Compositional and functional succession of bacterial and fungal communities is associated with changes in abiotic properties during pig manure composting. *Waste Management*, 131, 350–358. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.06.023>
- Wang, W. K., & Liang, C. M. (2021). Enhancing the compost maturation of swine manure and rice straw by applying bioaugmentation. *Scientific Reports*, 11(1), 6103. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-85615-6>
- Wang, L., Li, Y., & Li, X. (2024). Microbe-aided thermophilic composting accelerates manure fermentation. *Frontiers in Microbiology*, 15, 1472922. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1472922>
- Yin, J., Xie, M., Yu, X., Feng, H., Wang, M., Zhang, Y., & Chen, T. (2024). A review of the definition, influencing factors, and mechanisms of rapid composting of organic waste. *Environmental Pollution*, 342, 123125. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.123125>
- Nleya Y., Young B., Nooraee E., Baroutian S., (2024). Anaerobic digestion of dairy cow and goat manure: Comparative assessment of biodegradability and greenhouse gas mitigation. *Fuel*, 381, Part B, 133458. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2024.133458>
- Zhang, G., & Dong, Y. (2022). Design and application of an efficient cellulose-degrading microbial consortium and carboxymethyl cellulase production optimization. *Frontiers in Microbiology*, 13, 957444. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.957444>
- Zhang, Z., Wang, B., Chen, C., Zou, X., Cheng, T., & Li, J.-H. (2023). Aerobic co-composting of mature compost with cattle manure: Organic matter conversion and microbial community characterization. *Bioresource Technology*, 382, 129187. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2023.129187>

ОБ АВТОРАХ:

Елена Николаевна Усманова, старший научный сотрудник лаборатории селекции животных и биотехнологий, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, Вятский ГАТУ (610017, г. Киров, Октябрьский пр-т, 133), <https://orcid.org/0000-0002-0744-4603>, SPIN-код: 5903-3065, AuthorID: 983355, elena_akademy@mail.ru

Людмила Ивановна Кузякина заведующая лабораторией селекции животных и биотехнологий, доцент, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, Вятский ГАТУ (610017, г. Киров, Октябрьский пр-т, 133), <https://orcid.org/0000-0002-1503-484X>, SPIN-код: 2847-1224, AuthorID: 359823, klikirov43@mail.ru

Марина Николаевна Втюрина, заведующая аналитической лабораторией, доцент, кандидат химических наук, доцент, Вятский ГАТУ (610017, г. Киров, Октябрьский пр-т, 133), <https://orcid.org/0000-0002-2366-3929>, SPIN-код: 3390-9693, AuthorID: 956224, vturina-60@mail.ru

ABOUT THE AUTHORS

Elena Nikolaevna Usmanova, Senior Researcher, Laboratory of Animal Breeding and Biotechnology, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Vyatka State Agricultural Technical University (610017, Kirov, Oktyabrsky Ave., 133), <https://orcid.org/0000-0002-0744-4603>, SPIN-code: 5903-3065, AuthorID: 983355, elena_akademy@mail.ru

Lyudmila Ivanovna Kuzyakina, Head of the Laboratory of Animal Breeding and Biotechnology, Associate Professor, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Vyatka State Agricultural Technical University (610017, Kirov, Oktyabrsky Ave., 133), <https://orcid.org/0000-0002-1503-484X>, SPIN-code: 2847-1224, AuthorID: 359823, klikirov43@mail.ru

Marina Nikolaevna Vtyurina, Head of the Analytical Laboratory, Associate Professor, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Vyatka State Agrarian University (610017, Kirov, Oktyabrsky Ave., 133), <https://orcid.org/0000-0002-2366-3929>, SPIN-code: 3390-9693, AuthorID: 956224, vturina-60@mail.ru

ПРИЛОЖЕНИЕ А

APPENDIX A

ФГБОУ ВО «Вятский государственный агротехнологический университет» Аналитическая лаборатория Протокол испытаний (Лабораторных измерений)

Согласно заявке в аналитической лаборатории Вятского ГАТУ проведены испытания (лабораторные измерения) проб навоза.

Отбор, транспортирование и хранение анализируемой исследуемых проб были произведены Заказчиком. Анализ пробы проводился в аналитической лаборатории Вятского ГАТУ.

I. Измерение массовой доли водорастворимых форм ионов калия в пробах навоза, %

1. Средства измерений. Система капиллярного электрофореза «Капель-105М» по ТУ 4215-302-45549798-2015 с положительной полярностью высокого напряжения; внутренний диаметр капилляра 75 мкм, общая длина 60 см, оснащенная специализированным программным обеспечением на основе персонального компьютера.
2. При выполнении измерений температура воздуха, атмосферное давление, влажность воздуха, напряжение переменного тока, частота переменного тока соответствовали ТУ 4215-302-45549798-2015.
3. Условия анализ: длина волны 267 нм; температура 20°C; ввод пробы 30 мбар, 5 с, напряжение 25 кВ, время испытания 6 мин.

Таблица 1

Массовая доля водорастворимых форм калия, массовая доля, % (в пересчете на K_2O)

Table 1

Mass fraction of water-soluble forms of potassium, mass fraction, % (in terms of K_2O)

Наименование катиона	Пробы навоза				
	№1	№2	№3	№4	№5 Контроль
Калий	0,15 (0,1245)	0,19 (0,1577)	0,12 (0,0996)	0,14 (0,1162)	0,13 (0,1079)

4. Подготовка проб для анализа проведена в соответствии с ТУ 4215-302-45549798-2015.
5. Результаты измерений представлены в Таблице 1.

II. Измерение массовой доли водорастворимых форм фосфора в навозе, %.

1. Средства измерений. Система капиллярного электрофореза «Капель-105М» по ТУ 4215-023-20506233-2006 с отрицательной полярностью высокого напряжения; внутренний диаметр капилляра 75 мкм, общая длина 60 см, оснащенная специализированным программным обеспечением на основе персонального компьютера.
2. При выполнении измерений температура воздуха, атмосферное давление, влажность воздуха, напряжение переменного тока, частота переменного тока соответствовали ТУ 4215-302-45549798-2015.
3. Условия анализ: длина волны 374 нм; температура 20°C; ввод пробы 30 мбар, 5 с, напряжение -25 кВ, время испытания 6 мин.
4. Подготовка проб для анализа проведена в соответствии с ТУ 4215-023-20506233-2006.
5. Результаты измерений представлены в Таблице 2.

Таблица 2.

Массовая доля водорастворимых форм фосфора, массовая доля, % (в пересчете на P_2O_5)

Table 1

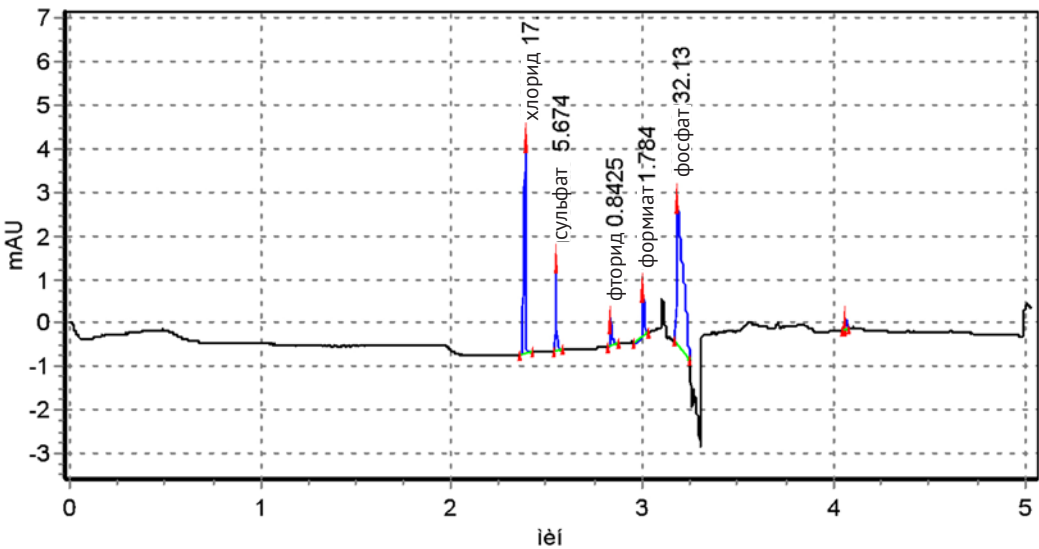
Mass fraction of water-soluble forms of phosphorus, mass fraction, % (in terms of P_2O_5)

Наименование катиона	Пробы навоза				
	№1	№2	№3	№4	№5 Контроль
Фосфор	0,23 (0,1718)	0,28 (0,2092)	0,20 (0,1492)	0,27 (0,2017)	0,30 (0,2241)

Прибор: Капель 105М № 2238
Дата: 07.10.2024 09:22:11
Оператор: MainUser
Файл ЭФГ: D:\ЭФГ\ анионы проба 2.mdf
Файл метода: D:\ЭФГ\Методы\Анионы.mtk
Температура: 20.0 °C
Длина волны: 374

Проба №2
Буферный раствор: Рабочий буфер
Метод расчета: Абсолютная градуировка.

- Программа:
- 1. Промывка. Из 9 в 8, t = 122 сек, U = 0 кВ, P = 1000 мбар.
 - 2. Ввод пробы. Из 2 в 10, t = 5 сек, U = 0 кВ, P = 30 мбар.
 - 3. Анализ. Из 10 в 10.
 - 3.1. t = 300 сек, U = -25 кВ, P = 0 мбар, W = 374 нм.



N	Время	Компо- нент	Высота	Начало	Конец	Пло- щадь	Конц., мг/л	ШПВ	ТТ	ПИ	As(0.1)	Rn,n+1
1	2.387	хлорид	4.963	2.355	2.418	39.54	17.82	0.012	231846		0.4	2.8
2	2.547	сульфат	2.146	2.535	2.585	10.11	5.674	0.007	808419		1.3	5.9
3	2.832	фторид	0.629	2.822	2.868	4.758	0.8425	0.010	444216		2.3	2.8
4	2.998	формат	1.152	2.955	3.027	7.989	1.784	0.012	365911		2.0	2.4
5	3.177	фосфат	3.383	3.167	3.243	80.76	32.13	0.035	45637		9.5	15.4

Прибор: Капель 105M № 2238

Дата: 04.10.2024 11:24:46

Оператор: MainUser

Файл ЭФГ: D:\ЭФГ\ катионы проба 2.mdf

Файл метода: D:\ЭФГ\Методы\катионы.mtk

Температура: 20.0 °C

Длина волны: 267

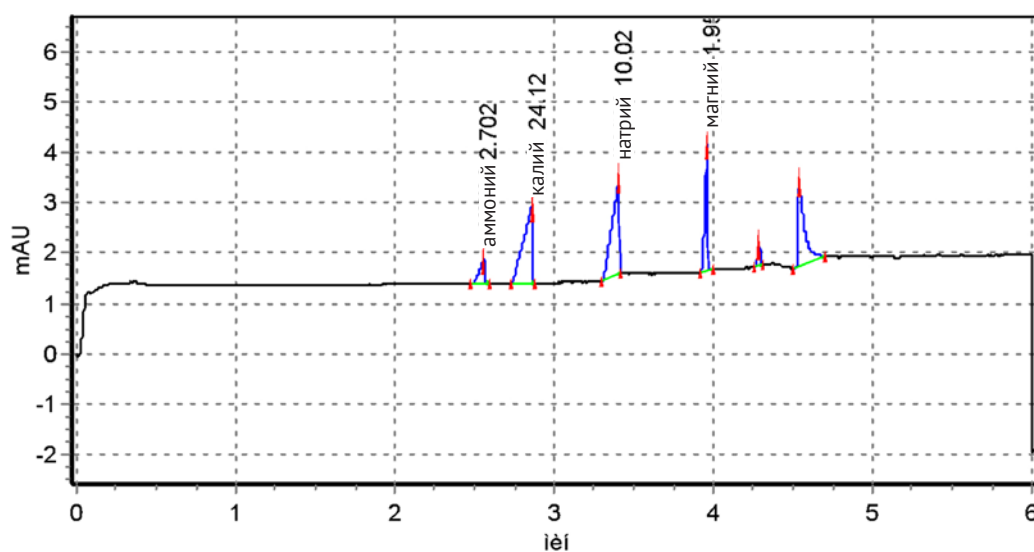
Проба №2

Буферный раствор: Рабочий буфер

Метод расчета: Абсолютная градуировка.

Программа:

1. Промывка. Из 7 в 8, t = 122 сек, U = 0 кВ, P = 1000 мбар.
2. Промывка. Из 9 в 8, t = 182 сек, U = 0 кВ, P = 1000 мбар.
3. Ввод пробы. Из 2 в 10, t = 5 сек, U = 0 кВ, P = 30 мбар.
4. Анализ. Из 10 в 10.
 - 4.1. t = 360 сек, U = 25 кВ, P = 0 мбар, W = 267 нм.



N	Время	Компо- нент	Высота	Начало	Конец	Пло- щадь	Конц., мг/л	ШПВ	ТТ	ПИ	As(0.1)	Rn,n+1
1	2.560	аммоний	0.496	2.473	2.597	11.20	2.702	0.037	27005		0.1	2.2
2	2.858	калий	1.516	2.728	2.877	57.83	24.12	0.062	11902		0.0	4.0
3	3.407	натрий	1.952	3.295	3.422	62.16	10.02	0.048	27522		0.1	5.2
4	3.957	магний	2.532	3.913	3.998	29.32	1.952	0.017	312228		0.3	4.6

Заведующий аналитической лабораторией

М.Н.Втюрина