

Научная статья

УДК 631.895

DOI: 10.26730/1999-4125-2025-1-46-53

ПОЛУЧЕНИЕ ОРГАНОМИНЕРАЛЬНОГО УДОБРЕНИЯ ИЗ ОТХОДОВ ПТИЦЕПРОМА**Старьгин Лев Алексеевич, Дрикер Борис Нутович,
Залесов Сергей Вениаминович, Горбатенко Юлия Анатольевна**

Уральский государственный лесотехнический университет

* для корреспонденции: starygin@inbox.ru

Аннотация.

Рассмотрен вопрос получения органоминерального удобрения из бесподстилочного куриного помета. На Среднем Урале сконцентрировано значительное количество крупных птицеводческих предприятий. Объем образования помета составляет около 500 тыс. тонн в год. Продолжительность выдержки помета на специальных площадках на практике составляет 3 и более месяцев, при этом качество перегнившего помета, используемого как удобрения, не всегда соответствует нормативным требованиям. Описанные в литературе методы переработки помета не получили массового распространения в промышленном производстве в силу различных причин. Целью работы является получение удобрений из отходов птицефабрик за счет регулирования состава смеси, способствующее улучшению процесса твердофазной аэробной ферментации. Как следствие, происходит улучшение потребительских свойств продукта ферментации для использования в лесном, сельском хозяйстве. Эксперимент включал отработку режимов аэробной твердофазной ферментации за счет регулирования состава смеси, проверку качества полученных удобрений, проведение испытаний потребительских свойств удобрений в лабораторных и полевых условиях. В ходе эксперимента исследован режим аэробной твердофазной ферментации бесподстилочного куриного помета с различными добавками, определены оптимальные дозировки компонентов ферментируемой смеси. Зола-уноса Рефтинской ГРЭС, содержащая большое число макро- и микроэлементов, оказывает положительное влияние на качество удобрения. Проведены испытания органоминеральных удобрений по санитарно-ветеринарным и агрохимическим показателям. Получены результаты, подтверждающие соответствие продукта стандартам, применяемым к органическим удобрениям. В лабораторных условиях проведена серия экспериментов и получены данные об улучшении морфологических характеристик при выращивании тест-объектов (кресс-салат). Заложены полевые опыты по искусственному лесовосстановлению на рекультивируемом участке отработанного гранитного карьера в Свердловской области. Для проверки качества органоминерального удобрения при выращивании посадочного материала заложены опытные площадки в лесных питомниках. Получены предварительные данные об улучшении оцениваемых на практике показателей саженцев и семян хвойных пород.

**Информация о статье**

Поступила:

26 декабря 2024 г.

Одобрена после

рецензирования:

22 января 2025 г.

Принята к публикации:

30 января 2025 г.

Опубликована:

12 марта 2025 г.

Ключевые слова:

бесподстилочный помет;
зола-уноса; ферментация;
удобрения;
лесовосстановление;
посадочный материал.

Для цитирования: Старьгин Л.А., Дрикер Б.Н., Залесов С.В., Горбатенко Ю.А. Получение

органоминерального удобрения из отходов птицепрома // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2025. № 1 (167). С. 46-53. DOI: 10.26730/1999-4125-2025-1-46-53, EDN: IJNRMO

Введение

Уральский регион имеет развитую птицеводческую промышленность. В Свердловской, Челябинской, Курганской областях действует более двух десятков крупных птицеводческих хозяйств. На Среднем Урале функционирует более десяти птицефабрик. Суммарное количество помета, который ежегодно образуется на предприятиях, составляет около 500 тыс. тонн. Основное количество материала накапливается в специальных сооружениях – помехохранилищах, на площадках компостирования. При этом большинство подобных сооружений устарели, что, в свою очередь, приводит к ухудшению санитарно-гигиенической и экологической ситуации. Проблема утилизации помета в регионе стоит достаточно остро.

В настоящее время наряду с традиционной технологией складирования и выдерживания пометной массы в помехохранилищах наиболее часто на птицеводческих предприятиях применяют технологию компостирования на открытых площадках в буртах с периодическим механическим перемешиванием массы, или без такового. При длительном нахождении помета в хранилищах происходит значительное выделение загрязняющих веществ, перегнивающий помет также является источником неприятного запаха [1-5]. Вместе с тем птичий помет является ценными органическим удобрением, так как в нем содержатся все необходимые для питания растений элементы [6, 7].

Наличие в составе помета антибиотиков и иных фармацевтических препаратов, используемых на птицефабриках, отрицательно сказывается на возможностях его безопасного использования. Поэтому продолжительность выдержки помета на специальных площадках до его «созревания» на практике составляет от 3 месяцев до 1,5 лет. Естественно, что ускорению процесса созревания компостируемого материала и получению полезного продукта – удобрения – посвящено значительное количество работ и патентов [8-10]. Однако ни один из предлагаемых методов не получил массового распространения в промышленном производстве в силу различных причин, основные из которых – высокие затраты на реализацию технологии, недостаточная экологичность и эффективность, трудности при реализации полученной продукции, высокая документарная нагрузка при реализации новой технологии на практике.

Целью данной работы является получение удобрений из отходов птицефабрик за счет

регулирования состава смеси, способствующее улучшению процесса твердофазной аэробной ферментации и, как следствие, улучшение потребительских свойств продукции для их использования в лесном, сельском хозяйстве.

В ходе эксперимента решались следующие задачи: оптимизация процесса твердофазной аэробной ферментации за счет регулирования состава ферментируемой смеси, оценка потребительских свойств полученного продукта, апробация полученного продукта в качестве удобрения в лесном хозяйстве для повышения плодородия почвы.

Методы

Аэробная твердофазная ферментация – это биохимический процесс разложения органической части помета микроорганизмами при определенных условиях (температура, влажность, рН смеси). При ферментации в биохимических реакциях взаимодействует органический материал, кислород и бактерии (сапрофитные аэробные микроорганизмы). Процесс ферментации приводит к образованию органоминерального субстрата гумусовой природы. Также продуктами являются диоксид углерода, вода, аммиак, сероводород. При определенном соотношении азота и углерода реакции, протекающие при аэробной ферментации, экзотермические, ферментируемая смесь разогревается до 60-70°C.

Для получения удобрения использовали бесподстилочный помет одной из птицефабрик яичного направления Свердловской области. Содержание общего азота в образцах свежего помета 5-6% (в пересчете на сухое вещество), что составляет 14-17 г/кг [11]. Азот в птичьем помете в количестве 30-40% содержится в составе белковых соединений (белки, полипептиды, аминокислоты), 60-70% составляют азотсодержащие вещества небелковой природы – струвит, мочевая кислота, ее соли и др. [16]. В качестве дополнительных компонентов, улучшающих физико-механические свойства исходного материала, использовали: золу-уноса от сжигания угля Рефтинской ГРЭС, опил или стружку лиственных или хвойных пород. Угольная зола помимо улучшения физико-механических свойств материала (уменьшение влажности, улучшение воздухопроницаемости материала) является источником микроэлементов в ней содержащихся. Анализ золы, выполненный на атомно-эмиссионном спектрометре с индуктивно связанной плазмой iCAP 6300 DUO, показал наличие в ее составе макро- и микроэлементов, широко используемых в составе различных

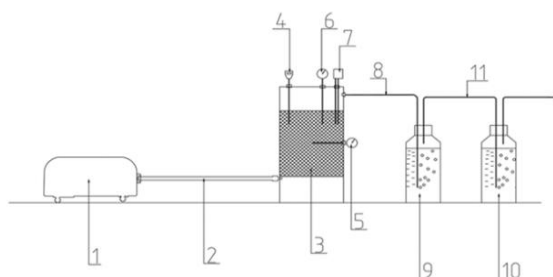


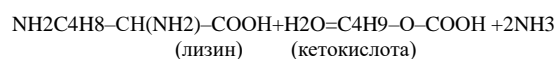
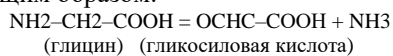
Рис. 1. Лабораторная установка ферментации куриного помета: 1 – воздушный компрессор с ротаметром; 2 – подводящий гибкий шланг; 3 – реактор; 4 – рН-метр; 5, 6 – термометры; 7 – влагомер; 8 – гибкий шланг для отвода конденсата и газов; 9, 10 – сосуды с поглотительным раствором; 11 – соединительный шланг

Fig. 1. Laboratory installation of chicken manure fermentation: 1 – air compressor with rotameter; 2 – supply flexible hose; 3 – reactor; 4 – pH-meter; 5, 6 – thermometers; 7 – moisture meter; 8 – flexible hose for condensate and gases removal; 9, 10 – vessels with absorption solution; 11 – connecting hose

удобрений: Fe – 0,6%, Al – 0,3% Mg – 0,22%, Cu – 0,00072%, Mo – 0,00034%, Zn – 0,0018%, Mn – 0,0016%, Se – 0,00014%, Co – 0,00011%, кроме того, зола положительно влияет на рН реакционной смеси. Древесные опил и стружка также способствуют улучшению структуры смеси, одновременно являясь источником углерода. В ряде экспериментов использовали предварительно ферментированный продукт, полученный из помета той же птицефабрики. Однако суммарное количество перечисленных выше добавок по соображениям технологической и экономической целесообразности не превышало 30%.

В реакторе малого объема подвергали ферментации состав, предварительно смешав компоненты до получения однородной массы. Аэрацию проводили воздухом из расчета 1 л/мин на 1 кг смеси [13]. Схема лабораторной установки приведена на Рис. 1.

Процесс ферментации белкового азота в первую очередь связан с разложением аминокислот в результате реакции дезаминирования. Их продуктами являются вещества, содержащие карбоксильную группу и аммиак. В качестве примера реакции дезаминирования глицина и лизина протекают следующим образом:



С учетом этого контроль за процессом ферментации проводили периодически по количеству выделившегося аммиака, содержание которого (в пересчете на азот) определяли в последовательно установленных поглотителях с раствором соляной кислоты (1,0-1,2 н). Другие технологические параметры процесса (температура, влажность, рН среды) контролировали в периодическом режиме. Процесс ферментации считали завершенным при снижении температуры реакционной массы до 30°C и прекращении выделения аммиака.

Результаты исследования

На Рис. 2, 3 представлены зависимости влияния состава ферментируемой композиции на температуру и продолжительность процесса.

Серия экспериментов проведена с добавлением к смеси, вновь подвергаемой ферментации, различных доз предварительно ферментированного продукта.

Обсуждение

Индукционный (скрытый) период ферментации в течение первых 150-200 часов очевидно связан с процессом адаптации и

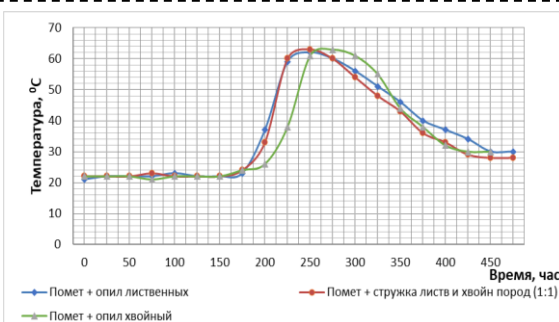


Рис. 2. Изменение температуры смеси в процессе ферментации

Fig. 2. Variation of the mixture temperature during fermentation

накопления биомассы микроорганизмов, участвующих в процессе ферментации. Косвенным подтверждением этому является добавление различных количеств предварительно ферментированного продукта к реакционной массе, Рис. 3, в результате чего активная фаза процесса ферментации начиналась через 18-24 часа, а продолжительность всего процесса, соответственно, сокращалась до 160-210 часов. По нашему мнению, этот продукт инициирует процесс аэробной твердофазной ферментации, обеспечивая более быстрый рост и адаптацию микроорганизмов в ферментируемой смеси [14].

Тем не менее, даже при сокращении продолжительности процесса содержание общего азота в ферментируемой смеси снижается с 5-6% до 2,0-2,2%. Потери азота в процессе получения можно существенно сократить при использовании вместо стружки и

опила древесного активированного угля. Это позволяет сократить потери азота более чем в полтора раза при одновременном улучшении физико-механических свойств продукта, как при получении, так и при последующем применении в качестве удобрения [15].

Оценку свойств полученных в результате ферментации удобрений проводили по

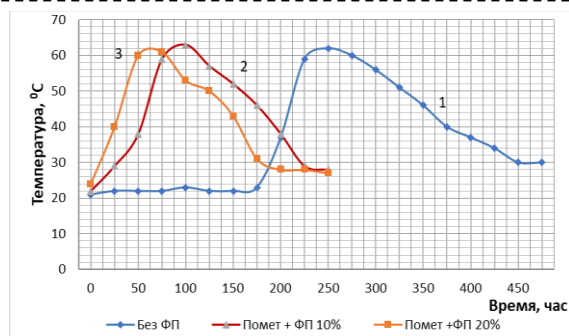


Рис. 3. Зависимость продолжительности ферментации от состава смеси: кривая 1 – без ферментированного продукта; кривая 2 – с ферментированным продуктом (10% от массы помета), 3 – с ферментированным продуктом (20% от массы помета)

Fig. 3. Dependence of fermentation duration on the mixture composition: curve 1 – without fermented product; curve 2 – with fermented product (10% of litter weight), 3 – with fermented product (20% of litter weight)

стандартной методике ГОСТ Р ИСО 18763-2019. Качество почв. «Определение токсичного воздействия загрязняющих веществ на всхожесть и рост на ранних стадиях высших растений».

Наличие в ферментируемых составах золы и присутствующих в ней микроэлементов Fe, Zn, Cu в виде катионов, Mo, B, Se, и др. в виде анионов положительно сказывается на потребительских свойствах удобрений, увеличивая у выращиваемого кресс-салата (*Lipidium sativum* L.) корневую часть в 2,0-2,5 раза, наземную в 1,3-1,5 раза. С учетом этого полученные удобрения могут быть отнесены к органоминеральным [16].

Для экспериментальной проверки качества полученного органоминерального удобрения в 2023-2024 гг. заложены опытные лесокультурные площади на территории оработанного участка карьера Исетского месторождения гранитов, расположенного на территории поселка Исеть Верхнепышминского района Свердловской области, мелкоплощадные опыты в постоянных лесных питомниках (ПЛП) Сухоложского и Березовского лесничеств Свердловской области [17, 18].

Предварительные данные свидетельствуют, что применение органоминеральных удобрений в оптимальных дозировках положительно

сказывается на морфологических характеристиках саженцев сосны и ели. В среднем на оработанном участке карьера Исетского месторождения гранитов прирост по высоте у саженцев ели при внесении удобрения оказался выше на 20% при сравнении с контролем. Выживаемость саженцев ели на опытных участках, где применено удобрение, выше на 15%, чем в контрольном опыте. Получены достоверные данные по улучшению морфологических характеристик сеянцев сосны в обоих ПЛП.

Выводы

Аэробная твердофазная ферментация является адекватным способом утилизации отходов птицефабрик. Продолжительность процесса ферментации является важным технологическим показателем при переработке большого количества пометной массы. В первую очередь, на продолжительность процесса влияет качественный состав ферментируемой смеси. Зола содержит необходимые для роста и развития растений анионы и катионы микроэлементов, ее наличие также улучшает физико-механические свойства смеси. Добавление предварительно ферментированного продукта в оптимальном количестве приводит к ускорению начала ферментации, что положительно сказывается на общей продолжительности процесса. Добавление активированного угля позволяет сократить потери азота, что существенно улучшает агрохимические показатели качества удобрения. Помет и побочные продукты различных производств – ценное органическое сырье, которое может широко использоваться при искусственном лесовосстановлении и для улучшения почвенного плодородия при выращивании лесного посадочного материала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Запевалов М. В., Наумов Ю. М. Эффективность применения птичьего помета в качестве удобрения // Вестник ЧГАУ. 2002. Т. 37. С. 118–119.
2. Брюханов А. Ю., Субботин И. А., Тимофеев Е. В., Эрк А. Ф. Эколого-энергетический показатель внедрения наилучших доступных технологий утилизации куриного помета // Экология и промышленность России. 2019. Т. 23. № 12. С. 29–33.
3. Антонова Е. В., Мирошников Д. В. Технологии переработки куриного помета в холодной климатической зоне // Матер. XVII Междунар. науч.-практ. конф. «21 век: фундаментальная наука и технологии». 2018. С. 136–138.
4. 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). С. 128–140.

5. Seidavi A. R., Zaker-Esteghamati H., Scanes C. G. Present and potential impacts of waste from poultry production on the environment // World's Poultry Science Journal. 2019. Vol. 75. Iss. 1. Pp. 29–42. DOI: 10.1017/S0043933918000922

6. Лысенко В. П. Утилизация отходов: реальные технологии // Животноводство России. 2011. № 6. С. 9–11.

7. Попов В. Н., Корнеева О. С., Искусных О. Ю., Искусных А. Ю. Инновационные способы переработки биоотходов птицеводства // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2020. № 82 (1). С. 194–200.

8. Марченко В. И., Гребенник Д. В., Алексеенко В. А., Сляднев Д. Н. Энергосберегающая технология переработки отходов птицеводства с получением полезных продуктов // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. Самара. 2006. № 4. С. 169–171.

9. Лысенко В. П. Куриный помет – побочная продукция птицефабрик // Птица и птицепродукты. 2013. № 5. С. 65–67.

10. Марченко В. И. Безотходная технология переработки птицеводческих отходов // Повышение эффективности использования сельскохозяйственной техники: Сб. науч. трудов. Ставрополь. 2000. С. 87–91.

11. Nahm K. H. Evaluation of the nitrogen content in poultry manure // World's Poultry Science Journal. 2003. Vol. 59. Iss. 1. Pp. 77–88. DOI: 10.1079/WPS20030004

12. Crouch N. M. A., Lynch V. M., Clarke J. A. A re-evaluation of the chemical composition of avian urinary excreta // J. Ornithol. 2020. 161. Pp. 17–24. DOI: 10.1007/s10336-019-01692-5.

13. Jia Chi Lai, Yi Lung Then, Siaw San Hwang, Chung Sien Lee Optimal aeration management strategy for a small-scale food waste composting // Carbon Resources Conversion. 2024. Vol. 7, Iss. 1. 100190 DOI: 10.1016/j.crcon.2023.06.002

14. Патент № 2816192 Российская Федерация, МПК C05F 3/00 (2006.01), C05F 17/00 (2006.01). Способ переработки птичьего помета с получением удобрения N 2023102280 : заявлено 02.02.2023 : опубл. 26.03.2024 / Дрикер Б. Н., Старыгин Л. А., Марина Н. В., Панова Т. М., Фомин В. В., Платонов Е. П., Первова И. Г., Неуймин Р. С., Усов Н. А.; патентообладатель : Уральский государственный лесотехнический университет. 12 с.

15. Заявка № 2023128713 Российская Федерация, МПК C05F 3/00 (2006.01), C05F 11/02 (2006.01), C05G 3/00 (2006.01). Способ переработки птичьего помета с получением органоминерального удобрения : заявл. 07.11.2023 : опубл. 03.09.2024 / Дрикер Б. Н., Старыгин Л. А., Панова Т. М., Марина Н. В., Платонов Е. П., Фомин В. В., Залесов С. В., Тихонов А. В.; заявитель : Уральский государственный лесотехнический университет. 11 с.

16. Патент № 2806592 Российская Федерация, МПК C05F 3/00 (2006.01). Способ получения органоминерального удобрения N 2023102173 : заявлено 01.02.2023 : опубл. 01.11.2023 / Дрикер Б. Н., Старыгин Л. А., Марина Н. В., Панова Т. М., Фомин В. В., Платонов Е. П., Первова И. Г., Неуймин Р. С., Усов Н. А.; патентообладатель : Уральский государственный лесотехнический университет. 11 с.

17. Фролова Е. А., Залесов С. В. Применение нетрадиционных удобрений в лесном хозяйстве // Лесная наука в реализации концепции уральской инженерной школы: социально-экономические и экологические проблемы лесного сектора экономики: матер. XI Междунар. науч.-техн. конф. Екатеринбург : УГЛТУ, 2017. С. 245–246.

18. Залесов С. В., Магасумова А. Г., Фролова Е. А. Перспективы использования осадка сточных вод при выращивании посадочного материала сосны обыкновенной // Проблемы рекультивации отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства: IV Междунар. науч. экол. конф. Краснодар : Кубан. гос. аграрн. ун-т, 2015. Ч. 1. С. 151–155.

© 2025 Авторы. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:

Старыгин Лев Алексеевич, старший преподаватель кафедры ФХТЗБ, Уральский государственный лесотехнический университет (620100, Россия, г. Екатеринбург, ул. Сибирский тракт, 37), ORCID: <http://orcid.org/0009-0009-6394-4117>, e-mail: starygin@inbox.ru;

Дрикер Борис Нутович, доктор технических наук, профессор кафедры ФХТЗБ, Уральский государственный лесотехнический университет (620100, Россия, г. Екатеринбург, ул. Сибирский тракт, 37), ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5791-9024>, e-mail: drikerbn@m.usfeu.ru;

Залесов Сергей Вениаминович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой Лесоводства, Уральский государственный лесотехнический университет (620100, Россия, г. Екатеринбург, ул. Сибирский тракт, 37), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3779-410X>, e-mail: zalesovsv@m.usfeu.ru;

Горбатенко Юлия Анатольевна, кандидат химических наук, доцент, заведующая кафедрой ФХТЗБ, Уральский государственный лесотехнический университет (620100, Россия, г. Екатеринбург, ул. Сибирский тракт, 37), ORCID: <http://orcid.org/0009-0002-2265-4702>, e-mail: gorbatenkoyua@m.usfeu.ru

Заявленный вклад авторов:

Старыгин Лев Алексеевич – постановка исследовательской задачи, обзор соответствующей литературы, сбор и анализ данных, выводы, написание текста.

Дрикер Борис Нутович – постановка исследовательской задачи, концептуализация исследования, научный менеджмент, выводы, написание текста.

Залесов Сергей Вениаминович – концептуализация исследования, выводы, написание текста.

Горбатенко Юлия Анатольевна – обзор соответствующей литературы, выводы, написание текста.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Original article

PRODUCTION OF ORGANOMINERAL FERTILIZER FROM WASTE POULTRY FARMING

Lev A. Starygin, Boris N. Driker,
Sergey V. Zalesov, Yulia A. Gorbatenko

Ural State Forestry Engineering University

* for correspondence: starygin@inbox.ru



Article info

Received:

26 December 2024

Accepted for publication:

22 January 2025

Accepted:

30 January 2025

Published:

12 March 2025

Keywords: litterless manure; fly ash; fermentation; fertilizers; reforestation; planting material

Abstract.

The question of obtaining organomineral fertilizer from litterless chicken manure is considered. A considerable number of large poultry farms are concentrated in the Middle Urals. The volume of manure formation is about 500 thousand tons per year. In practice, the duration of keeping the manure on special sites is 3 and more months, and the quality of decomposed manure used as fertilizer does not always meet the regulatory requirements. The methods of manure processing described in the literature have not been widely used in industrial production due to various reasons. The aim of the work is to obtain fertilizers from poultry farm waste by adjusting the composition of the mixture, contributing to the improvement of the solid-phase aerobic fermentation process. As a consequence, improving the consumer properties of the fermentation product for use in forestry, agriculture. The experiment included working out the modes of aerobic solid-phase fermentation by regulating the composition of the mixture, checking the quality of the fertilizers obtained, testing the consumer properties of fertilizers in laboratory and field conditions. In the course of the experiment the mode of aerobic solid-phase fermentation of litterless chicken manure with various additives was investigated, the optimal dosages of the components of the fermented mixture were determined. Fly ash from power station Reftinskaya, containing a large number of macro and microelements, has a positive effect on the quality of fertilizer. Organomineral fertilizers were tested for sanitary, veterinary and agrochemical parameters. The results confirming compliance with the standards applied to organic fertilizers were obtained. A series of experiments were conducted in laboratory conditions and data on the improvement of morphological characteristics during the cultivation of test objects (Kress-salad) were obtained. Field experiments on artificial reforestation on the recultivated area of the spent granite quarry in the Sverdlovsk region were laid. To test the quality of organomineral fertilizer in the cultivation of planting material, experimental sites were laid in forest nurseries Preliminary data on the improvement of the indicators of seedlings and seedlings of coniferous species assessed in practice were obtained.

For citation: Starygin L.A., Driker B.N., Zalesov S.V., Gorbatenko Yu.A. Production of organomineral fertilizer from waste poultry farming. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*=Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2025; 7(167):46-53. (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1999-4125-2025-1-46-53, EDN: IHJPMO

REFERENCES

1. Zapevalov M.V., Naumov Yu.M. Efficiency of poultry manure application as a fertilizer. *Vestnik ChGAU*. 2002; 37:118–119.
2. Bryukhanov A.Yu., Subbotin I.A., Timofeev E.V., Erk A.F. Ecological and energy indicator of introduction of the best available technologies of chicken manure utilization. *Ecology and Industry of Russia. EKIP*. 2019; 23(12):29–33.
3. Antonova E.V., Miroshnikov D.V. Technologies of chicken manure processing in the cold climatic zone. *Mater.XVII Intern. nauch.-prakt. conf. "21 century: fundamental science and technology"*. 2018. P. 136–138.
4. Shalavina E.V., Vasiliev E.V., Uvarov R.A. Methods of environmentally safe use of manure and litter by farms in the Leningrad region. *AgroEcoEngineering*. 2021; 3(108):128–140.
5. Seidavi A.R., Zaker-Esteghamati H. and Scanes C.G. Present and potential impacts of waste from poultry production on the environment. *World's Poultry Science Journal*. 2019; 75(1):29–42. DOI: 10.1017/S0043933918000922.
6. Lysenko V.P. Waste utilization: real technologies. *Livestock of Russia*. 2011; 6:9–11.
7. Popov V.N., Korneeva O.S., Iskusnykh O.Y., Iskusnykh A.Yu. Innovative methods for processing poultry biowaste. *Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies*. 2020; 82(1):194–200.
8. Marchenko V.I., Grebennik D.V., Alekseenko V.A., Slyadnev D.N. Energy-saving technology of poultry waste processing with obtaining useful products. *Izvestiya Samara State Agricultural Academy*. 2006; 4:169–171.
9. Lysenko V.P. Chicken manure - by-products of poultry farms. *Poultry and poultry products*. 2013; 5:65–67.
10. Marchenko V.I. Waste-free technology of poultry waste processing. *Improving the efficiency of agricultural machinery utilization: Collection of scientific papers*. 2000. P. 87–91.
11. Nahm K.H. Evaluation of the nitrogen content in poultry manure. *World's Poultry Science Journal*. 2003; 59(1):77–88. DOI: 10.1079/WPS20030004.
12. Crouch N.M.A., Lynch V.M., Clarke J.A. A re-evaluation of the chemical composition of avian urinary excreta. *J. Ornithol.* 2020; 161:17–24 (2020). DOI: 10.1007/s10336-019-01692-5.
13. Jia Chi Lai, Yi Lung Then, Siaw San Hwang, Chung Sien Lee Optimal aeration management strategy for a small-scale food waste composting. *Carbon Resources Conversion*. 2024; 7(1):100190. DOI: 10.1016/j.crcon.2023.06.002.
14. Patent No. 2816192 Russian Federation, MPK C05F 3/00 (2006.01), C05F 17/00 (2006.01). Method of poultry manure processing with obtaining fertilizer N 2023102280 : applied 02.02.2023 : published 26.03.2024 / Driker B.N., Starygin L.A., Marina N.V., Panova T.M., Fomin V.V., Platonov E.P., Pervova I.G., Neuimin R.S., Usov N.A.; patentee : Ural State Forest Engineering University. 12 p.
15. Application No. 2023128713 Russian Federation, MPK C05F 3/00 (2006.01), C05F 11/02 (2006.01), C05G 3/00 (2006.01). Method of poultry manure processing with obtaining organomineral fertilizer : applied. 07.11.2023 : publ. 03.09.2024 / Driker B.N., Starygin L.A., Panova T.M., Marina N.V., Platonov E.P., Fomin V.V., Zalesov S.V., Tikhonov A.V.; applicant : Ural State Forest Engineering University. 11 p.
16. Patent No. 2806592 Russian Federation, MPK C05F 3/00 (2006.01). Method of obtaining organomineral fertilizer № 2023102173 : applied for 01.02.2023 : published 01.11.2023 / Driker B.N., Starygin L.A., Marina N.V., Panova T.M., Fomin V.V., Platonov E.P., Pervova I.G., Neuimin R.S., Usov N.A.; patentee : Ural State Forest Engineering University. 11 p.
17. Frolova E.A., Zalesov S.V. Application of non-traditional fertilizers in forestry. *Forest science in the implementation of the concept of the Ural engineering school: socio-economic and ecological problems of the forest sector of the economy: Mater. XI International scientific and technical conf.* Ekaterinburg: UGLTU; 2017. Pp. 245–246.
18. Zalesov S.V., Magasumova A.G., Frolova E.A. Prospects for the use of sewage sludge in the cultivation of planting material of common pine. *Problems of reclamation of household waste, industrial and agricultural production: IV Intern. scientific ecol. conf.* Krasnodar: Kuban. gos. agrarn. un. university; 2015. Part. 1. Pp. 151–155.

© 2025 The Authors. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

The authors declare no conflict of interest.

About the authors:

Lev A. Starygin, Senior lecturer, Department of FHTZB, Ural State Forestry Engineering University (620100, Russia, Ekaterinburg, 37, Sibirsky trakt str.), ORCID: <http://orcid.org/0009-0009-6394-4117>, e-mail: starygin@inbox.ru;

Boris N. Driker, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of FHTZB, Ural State Forestry Engineering University (620100, Russia, Ekaterinburg, 37, Sibirsky trakt str.), ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5791-9024>, e-mail: drikerbn@m.usfeu.ru;

Sergey V. Zalesov, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head of Forestry Department, Ural State Forestry Engineering University (620100, Russia, Ekaterinburg, 37, Sibirsky trakt str.), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3779-410X>, e-mail: zalesovsv@m.usfeu.ru;

Yulia A. Gorbatenko, PhD in Chemistry, Associate Professor, Head of the Department of FHTZB, Ural State Forest Engineering University (620100, Russia, Ekaterinburg, 37, Sibirsky trakt str.), ORCID: <http://orcid.org/0009-0002-2265-4702>, e-mail: gorbatenkoyua@m.usfeu.ru

Contribution of the authors:

Lev A. Starygin – research problem statement, review of the relevant literature, data collection, data analysis, drawing the conclusions, writing a text.

Boris N. Driker – research problem statement, conceptualization of research, scientific management, drawing the conclusions, writing a text.

Sergey V. Zalesov – conceptualisation of the research, drawing the conclusions, text writing.

Yulia A. Gorbatenko – review of relevant literature, drawing the conclusions, writing a text.

All authors have read and approved the final manuscript.

