

DOI: 10.15593/2224-9400/2025.3.10

Научная статья

УДК 664.15:631.15

Р.Д. Сайфутдинова, Э.А. Мяскинова, С.В. Степанова

Казанский национальный исследовательский технологический университет, Казань, Российская Федерация

**КОМПЛЕКСНАЯ ПЕРЕРАБОТКА ОТХОДОВ
СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА**

Куриный помет и свекловичная меласса относятся к ежегодным крупнотоннажным отходам сельского хозяйства. Отход птицефабрик используется в качестве органических удобрений после компостирования или гранулирования. Поскольку он относится к 3-му классу опасности, то необходимо предварительное его обезвреживание перед применением. Меласса (патока) представляет собой многокомпонентный отход сахарного производства, который содержит в себе сахарозу, нерастворимый сахар и микроэлементы. Однако меласса не нашла своего широкого применения. В настоящее время данный вид отхода складывается на территории промышленных предприятий, занимая полезные площади, или вывозится на полигоны, где становится источником патогенного загрязнения окружающей среды, нарушая санитарно-гигиеническое состояние территорий.

Куриный помет содержит различные бактерии, которые участвуют в процессе анаэробного сбраживания органических веществ и могут обеспечить получение биогаза, а меласса содержит питательные для них вещества. Следовательно, совместное их применение позволит решить не только проблему утилизации данных отходов, но и проблему использования вторичных материальных ресурсов. Цель исследования – разработка комплексного метода утилизации куриного помета и свекловичной мелассы для получения биогаза и удобрения из сброженного осадка.

Исследования по получению биогаза показали, что добавление к куриному помету патоки в соотношении 1:1 при температуре 50 ± 2 °C позволяет увеличить выход биогаза на 41,85 % по сравнению с отходом птицефабрики. Далее сброженный осадок обеззараживался, подбиралась оптимальная его дозировка в качестве удобрения для выращивания высших растений. Результаты экспериментов показали, что при разбавлении полученной массы в соотношении 1:3 достигается наибольший рост длины корней и стеблей редиса и гороха, а также увеличение биомассы растений.

Предложен полный цикл утилизации отходов сельского хозяйства (куриного помета и свекловичной мелассы) с целью получения вторичных продуктов – биогаза и удобрения.

Ключевые слова: куриный помет, меласса, биогаз, отходы брожения, удобрение, редис, горох.

R.D. Sayfutdinova, E.A. Myaskinova, S.V. Stepanova

Kazan National Research Technological University,
Kazan, Russian Federation

PRODUCTION OF COMPLEX FERTILIZER FROM AGRICULTURAL WASTE

Chicken manure and beet molasses are among the annual large-scale agricultural waste. Poultry farm waste is used as organic fertilizers after composting or pelletizing. Since it belongs to the 3rd hazard class, it is necessary to first neutralize it before use. Molasses is a multicomponent waste product of sugar production, which contains sucrose, insoluble sugar and trace elements. However, molasses has not found its widespread use, currently this type of waste is stored on the territory of industrial enterprises, occupying useful areas, or exported to landfills, where it becomes a source of pathogenic environmental pollution, violating the sanitary and hygienic condition of the territories.

Chicken manure contains various bacteria that are involved in the process of anaerobic digestion of organic substances and can provide biogas, and molasses contains nutrients for them. Therefore, their joint application will solve both the problem of waste disposal and the use of secondary material resources. The purpose of the study is to develop a comprehensive method for the utilization of chicken manure and beet molasses to obtain biogas and fertilizer from fermented sludge.

Studies on the production of biogas have shown that adding molasses to chicken manure in a 1:1 ratio at a temperature of 50 ± 2 °C increases the biogas yield by 41.85 % compared with poultry farm waste. Next, the fermented sediment is disinfected and its optimal dosage is selected as a fertilizer for growing higher plants. The experimental results showed that when the resulting mass is diluted in a ratio of 1:3, the greatest increase in the length of the roots and stems of radishes and peas is achieved, as well as an increase in plant biomass. Thus, the authors of the article proposed a complete cycle of agricultural waste disposal (chicken manure and egg molasses) in order to obtain secondary products – biogas and fertilizers.

Keywords: *chicken manure, molasses, biogas, fermentation waste, fertilizer, radish, peas.*

Введение. В последние годы в Российской Федерации особое внимание обращается на необходимость повышения эффективности мер по охране природы, внедрению научно обоснованных систем ведения сельского хозяйства и прогрессивных технологий, снижающих воздействие на природную среду.

Ежегодно образующееся количество отходов птицефабрик и производства сахара из сахарной свеклы занимает огромные полезные площади, выводя из пользования земли сельскохозяйственного назначения и населенных пунктов, загрязняет почву и наносит ущерб геосфере.

В связи с постоянным увеличением количества валового продукта в сельском хозяйстве необходимо усовершенствование существую-

щих технологий по размещению, хранению и утилизации образующихся отходов.

Решением проблемы накопления отходов является разработка технологий по комплексному и безопасному их использованию с целью получения товарного продукта [1–7].

К передовым технологиям переработки сельхозотходов относятся биотехнологические методы (компостирование, получение биогаза и удобрений), основанные на использовании микроорганизмов, ферментов и других биологических систем. Преимуществом данного способа является снижение объемов отходов и извлечение из них ценных продуктов, уменьшение выбросов парниковых газов, что способствует замкнутому циклу использования ресурсов в аграрном секторе. Недостатком применения данного направления является применение сложного оборудования и высококвалифицированного персонала для эффективного функционирования, что может быть недоступно для небольших фермерских хозяйств.

Механические методы переработки отходов (дробление, измельчение и прессование) позволяют эффективно обрабатывать растительные остатки и животноводческие отходы, также уменьшают объем отходов, облегчая их транспортировку и хранение, способствуя более эффективному процессу компостирования. Механическая переработка стеблей и листьев после уборки урожая позволяет получить мульчу, которая защищает почву от эрозии и удерживает влагу. Внедрение автоматизированных систем и сенсорных технологий в процессы переработки значительно повышает эффективность и снижает затраты, что делает их более доступными для фермеров и аграрных предприятий.

Химические процессы переработки отходов (пиролиз, ферментация) сельского хозяйства включают использование различных реакций, направленных на преобразование органических и неорганических компонентов отходов в более ценные вещества (уголь, газ и жидкие углеводороды или сырье для производства химических веществ). Однако данные методы требуют тщательного контроля условий реакции и использования специализированного оборудования, что делает их более сложными, но эффективными для получения высококачественной продукции из сельскохозяйственных отходов.

Сжигание сельхозотходов в специально оборудованных установках позволяет использовать выделяемое тепло для выработки

электроэнергии или тепла. Недостатком данного метода является выделение вредных веществ, что приводит к удорожанию процесса из-за использования современных технологий для очистки выбросов.

Таким образом, применение биотехнологических методов способствует переработке сельскохозяйственных остатков, приводит к сокращению выбросов парниковых газов, возвращает питательные вещества обратно в землю, что улучшает качество почвы и повышает урожайность.

Решением проблемы утилизации сельхозотходов является создание эффективной технологической цепочки: образование отходов – переработка отходов – получение вторичных материальных и энергоресурсов – реализация конечной продукции производителям.

Динамика и состав сельхозотходов. Актуальность исследований заключается в том, что в последние годы ведется поиск инновационных технологий получения биогаза с использованием отходов птицеводства и сахарной промышленности, а также утилизации образующегося сброженного осадка в качестве удобрения. Одним из основных аспектов переработки отходов является экологичность, т.е. полученные вторичные материальные ресурсы не должны оказывать негативного воздействия на окружающую среду.

На рис. 1 показана динамика образования в России куриного помета и мелассы за последние 10 лет. Как видно, уровень отходов постоянен [8]. Следовательно, существует проблема их утилизации, существующие методы переработки не позволяют перерабатывать сельхозотходы в полном объеме.

Свежий куриный помет относится к 3-му классу опасности, а перепревший – к 4-му. Состав куриного помета [9] может варьироваться в зависимости от возраста курицы и ее рациона (рис. 2). В основном отход птицефабрики используется в качестве органических удобрений после компостирования или гранулирования. Куриный помет содержит различные бактерии, которые участвуют в процессе анаэробного сбраживания органических веществ и могут обеспечить получение биогаза. Среди них выделены: метаногенные археи, бактерии семейства *Enterobacteriaceae* и ацетогенные бактерии. Однако для точного определения состава микроорганизмов необходимы дополнительные исследования.

Свеклосахарный комплекс занимает ведущее место в структуре агропромышленного комплекса в Российской Федерации, так как сахар

относится к социально значимой группе продовольственных товаров. По производству сахара Россия является первой среди европейских стран и занимает шестое место на мировом рынке.

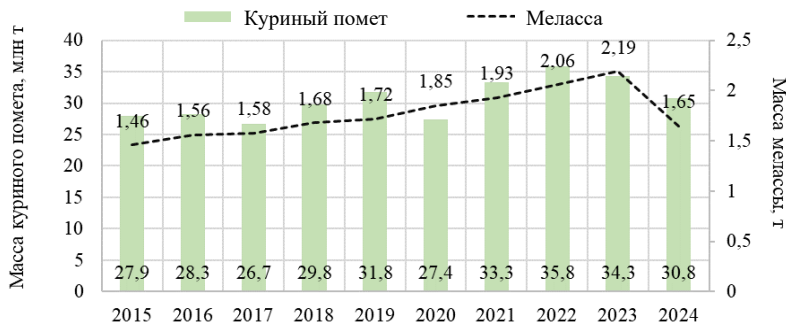


Рис. 1. Количество образующихся сельхозотходов

В процессе переработки сахарной свеклы, кроме основного товарного продукта, остается множество побочных продуктов — свекловичный жом, меласса, дефека́т и др. Известно, что дефека́т и жом сахарной свеклы повторно используют в качестве корма и изготовления комбикормов. Интерес к данным видам кормов в настоящее время возрос в результате неблагоприятных метеорологических условий, а также удорожания фуражного зерна.

Свекловичная меласса, или патока, — это сиропообразная непрозрачная жидкость темно-бурого цвета с высокой вязкостью, специфическим запахом, многокомпонентным составом (см. рис. 2) [10–13]. Меласса, образующаяся при производстве сахара, относится к 5-му классу опасности и считается практически неопасной (см. рис. 1).

Данный отход активно применяется в сельском хозяйстве в качестве удобрения полей и подкормки крупного рогатого скота. Однако меласса не нашла своего широкого применения. В настоящее время данный вид отхода складировается на территории промышленных предприятий, занимая полезные площади, или вывозится на полигоны, где становится источником патогенного загрязнения окружающей среды, нарушая санитарно-гигиеническое состояние территорий.

Таким образом, динамика образования куриного помета и мелассы в Российской Федерации показала, что данные виды отходов относятся к крупнотоннажным. Несмотря на существующие технологии их утилизации, сельхозотходы не проходят полную переработку, являясь ценным сырьем для получения товарных продуктов.

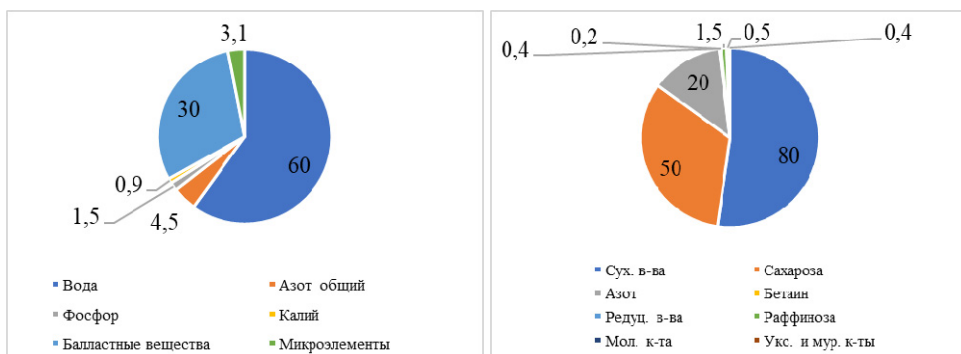


Рис. 2. Состав куриного помета и мелассы, % к массе

Целью данного исследования является разработка комплексного метода утилизации куриного помета и свекловичной мелассы для получения биогаза и удобрения из сброженного осадка.

Получение биогаза из куриного помета и мелассы. Биогаз является продуктом обмена веществ бактерий, образующийся вследствие разложения ими органического субстрата. Переработка и утилизация птичьего помета в биогазовых установках улучшает общую экологическую обстановку вокруг птицефабрики. Снижаются выбросы загрязняющих веществ в атмосферу.

Для изыскания путей утилизации мелассы исследовалась возможность использования свекловичной патоки в качестве питательной среды для анаэробных бактерий, содержащихся в курином помете.

Из литературных данных [12] известны требования к исходному сырью в соответствии с различными условиями развития метанобактерий. В сырье должны содержаться органические и минеральные вещества в объеме 75–85 : 15–25 % соответственно. Наибольшее влияние на рост и развитие метановых бактерий оказывает соотношение углерода и азота в перерабатываемом сырье. Если соотношение C:N велико, то недостаток азота приведет к недостатку питательных веществ, а избыток – к гибели микроорганизмов. Оптимальным является соотношение C:N = 8±20. Естественно для жизнедеятельности бактерий необходимо наличие микроэлементов (S, P, K, Na, Fe и др.) и отсутствие ингибиторов. Куриный помет и меласса отвечают этим требованиям.

На первом этапе авторами [14, 15] проводились исследования по получению биогаза. В биогазовую установку добавлялись куриный помет (КП) и меласса (М) в соотношении 35 г : 35 г к объему воды 200 см³ и при температурах 30, 40, 50±2 °С (рис. 3). Соблюдалось оптимальное соотношение смешивания навоз : вода, равное 1 : 3. После

двухсуточной адаптации микроорганизмов к питательной среде и периодическом перемешивании каждые 3 ч производился нагрев реакционной массы до указанных температур. В течение 20 сут фиксировалось количество образующегося биогаза.

По полученным данным построена зависимость объема, образующегося биогаза, от температуры процесса сбраживания сельхозотходов (см. рис. 3). Определено, что при температуре 50 ± 2 °С количество биогаза увеличилось в 2,3 и 1,5 раза по сравнению с другими температурными режимами.

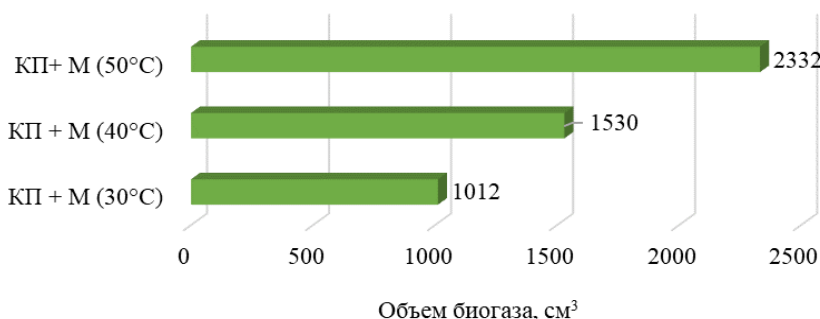


Рис. 3. Зависимость объема, образующегося биогаза, от температуры процесса сбраживания сельхозотходов

В результате проведенных экспериментов определены условия получения биогаза из сельхозотходов: соотношение воды : КП : М = 200:35:35, температура 50 ± 2 °С, время выдержки 20 сут, при этом объем газа составил 2,3 дм³.

В результате процесса брожения образовалась органо-минеральная масса, которая представляет собой ценное удобрение, содержащее в своем составе органические и минеральные компоненты.

Получение удобрений. Значительным резервом увеличения урожайности сельскохозяйственных культур, повышения качества продукции, устойчивости к неблагоприятным условиям являются регуляторы роста, которые позволяют получить высококачественную продукцию с минимальными затратами на их производство при одновременном сохранении, улучшении плодородия почв, и без изменения агротехники [16–18].

Применение удобрений относится к мощным агротехническим средствам повышения противозерозионной устойчивости почв. Растения на удобренной почве развивают более мощную корневую систему,

улучшают ее физические свойства. Правильный выбор форм доз, сроков и способов внесения и заделки удобрения является важным средством предотвращения потерь питательных веществ при смыве и выщелачивании из почвы.

К органо-минеральным комплексным удобрениям можно отнести соединения, состоящие в основном из элементов для повышения урожайности и питания растений. Комплексные удобрения, вносимые в почву в качестве пищевой добавки, оказывают сильное влияние на развитие растений. При недостатке питательных элементов в почве резко снижается рост растения, размер листьев и стеблей становится мелким, хрупким, снижается способность зерен и плодов к прорастанию.

Таким образом, минеральные и органические удобрения, регуляторы роста растений, пестициды и другие виды антропогенной нагрузки играют роль важного экологического фактора, изменяющего как питательный режим растений, так и микробиологические процессы [19–21].

Следует отметить, что удобрения, полученные в биогазовой установке, имеют свои преимущества:

1. Большинство питательных веществ переходят в легкоусвояемую растениями минеральную форму.
2. Фосфор и калий практически полностью сохраняются в сброженной массе, а потери азота не превышают 5 % (при аэробном сбраживании потери азота составляют около 40 %).
3. Происходит дезодорация – уничтожение запаха.
4. Снижаются энергозатраты и выбросы вредных веществ, обусловленные производством минеральных удобрений.

Поэтому далее оценивались агрохимическая эффективность инновационного биоудобрения, проводились вегетационные опыты.

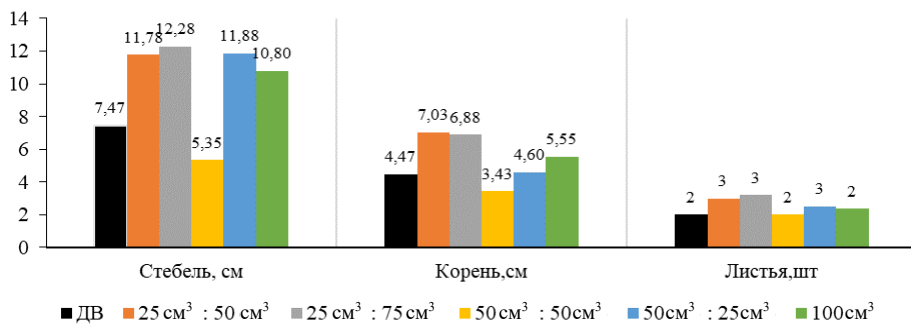
На следующем этапе осуществлялся подбор способа внесения биоудобрения и определение дозировки. В чистом виде меласса наносит вред почвенной экосистеме, вызывая гибель биоты и ухудшения агрохимических характеристик. Применение раствора патоки (4 г на 1 дм³ воды) в виде биоудобрения не показало положительной динамики в вегетационных опытах по сравнению с традиционными органо-минеральными удобрениями.

Поэтому дальнейшие исследования посвящены использованию осадка, полученного в результате анаэробного брожения КП и М. Полученный органо-минеральный осадок перед использованием стерилизовался водяным паром в течении 2,5 ч. Далее подбирались

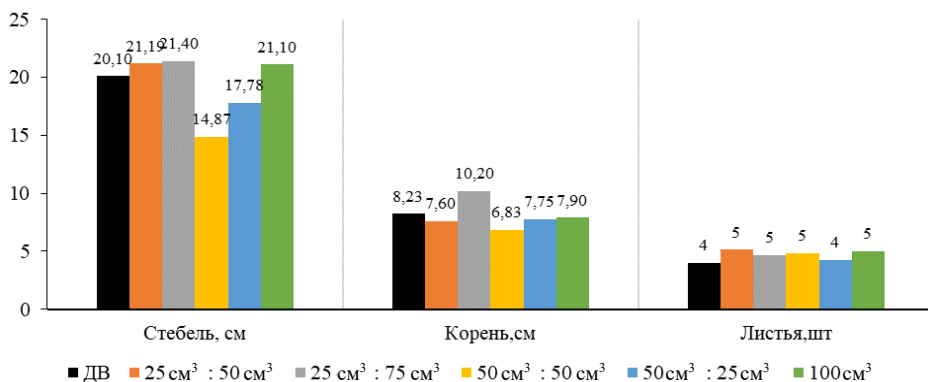
концентрация удобрения и его дозировка. С этой целью были приготовлены различные водные растворы биоудобрения: вода в следующих соотношениях:

- 1) $25 \text{ см}^3 : 75 \text{ см}^3$;
- 2) $25 \text{ см}^3 : 50 \text{ см}^3$;
- 3) $50 \text{ см}^3 : 25 \text{ см}^3$;
- 4) $50 \text{ см}^3 : 50 \text{ см}^3$;
- 5) $100 \text{ см}^3 : 0$.

В исследовании оценивался вегетационный рост семян редиса и гороха. В 6 контейнеров помещалось по 200 г грунта и высевалось по 10 семян высших растений. В качестве контроля 1 образец поливался дистиллированной водой (ДВ), остальные 5 образцов – растворами биоудобрения. По истечении 20 сут измерялась длина подземной и надземной части растений, а также количество листьев на стебле. Результаты экспериментов приведены на рис. 4.



а



б

Рис. 4. Результаты измерений длины корней и стеблей в зависимости от применяемых растворов для полива редиса (а) и гороха (б)

В табл. 1 представлены значения средней биомассы одного проросшего семени высших растений в зависимости от применяемого полива.

Таблица 1

Средняя биомасса одного проросшего семени, г

Вид раствора	Редис	Горох
ДВ	0,011	0,05
Биоудобрение	0,016	0,068
100 см ³	0,030	0,1
50 см ³ : 50 см ³	0,043	0,103
50 см ³ : 25 см ³	0,018	0,08
25 см ³ : 75 см ³	0,01	0,079
25 см ³ : 50 см ³	0,023	0,101

Оценивая данные рис. 4, а также табл. 1, следует отметить, что разбавление сброженного осадка 25 см³ : 50 см³ дает наибольший прирост по корням и стеблям высших растений на 30 % по сравнению с контролем, а также биомассы в 2 раза.

В табл. 2 представлен анализ грунтов после выращивания высших растений, который показал изменение pH водной вытяжки и кислотной обменной емкости почв в зависимости от применяемого биоудобрения.

Таблица 2

Анализ грунтов

Измеряемый показатель	100 см ³	50 см ³ : 50 см ³	50 см ³ : 25 см ³	25 см ³ : 75 см ³	25 см ³ : 50 см ³
pH (H ₂ O)	6,15	6,03	6,10	6,17	6,18
Кислотная обменная емкость, мг-экв/100 г	1,0938	0,8313	0,9625	0,7438	0,9844

Углеводы, содержащиеся в свекловичной мелассе, служат пищей для полезных микроорганизмов в почве. Эти микроорганизмы, такие как бактерии и грибы, играют ключевую роль в разложении органических веществ и улучшении структуры почвы, увеличивая ее аэрируемость и водопроницаемость, что создает более благоприятные условия для роста корней растений.

Заключение. Решением проблемы утилизации сельхозотходов является создание эффективной технологической цепочки: образова-

ние отходов – переработка отходов – получение вторичных материальных и энергоресурсов – реализация конечной продукции производителям.

Исследования по получению биогаза показали, что добавление к куриному помету патоки в соотношении 1:1 при температуре 50 ± 2 °C позволяет увеличить выход биогаза на 41,85 % по сравнению с отходом птицефабрики. Далее сброженный осадок обеззараживался и подбиралась оптимальная его дозировка в качестве удобрения для выращивания высших растений. Результаты экспериментов показали, что при разбавлении полученной массы сброженного осадка $25 \text{ см}^3 : 50 \text{ см}^3$ получен наибольший прирост по корням и стеблям высших растений на 30 % по сравнению с контролем, а также биомассы в 2 раза. Причина позитивного эффекта удобрительной композиции состоит в благоприятном воздействии биологически активных соединений, входящих в состав сброженного осадка на корневую систему растений.

Таким образом, предложен полный цикл утилизации отходов сельского хозяйства (куриного помета и свекловичной мелассы) с целью получения вторичных продуктов – биогаза и удобрения.

Список литературы

1. Shih, J.C.H. From Biogas Energy, Biotechnology to New Agriculture / J.C.H. Shih // *World's Poultry Science Journal*. – 2012. – No. 68 (3). – P. 409–416.
2. Biotransformation of Food Waste to Bio-Products: Biogas and Biofertilizer / Hadidi, Meryem, Bouchaib Bahlaouan, Said El Antri, Mohammed Benali, Nadia Boutaleb // *International Journal of Environmental Studies* 2022. – No. 80 (3). – P. 672–686.
3. Microbiological Study of Effects of Solid Organic Waste (Chicken Droppings and Sheep Manure) Decomposed in the Soil Used for *Pisum Sativum* Cultivation / El Barnossi, Azeddin, Hamza Saghrouchni, Fatimazahrae Moussaid, Naima Chahmi, Abdelilah Iraqi Housseini // *International Journal of Environmental Studies*. – 2019. – No. 77 (5). – P. 830–842.
4. Rasool, N.M. Techno-economic analysis to adopt a biogas plant for processing agricultural waste: a case study / N.M. Rasool, S. Abbasoglu, M. Radmehr // *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*. – 2024. – No. 46(1). – P. 6922–6939.
5. Effects of Different Forms of Vegetable Waste on Biogas and Methane Production Performances in a Batch Anaerobic Digestion Reactor / Tang Binbin, Mimi He, Yaojun Dong, Jianfeng Liu, Xingling Zhao, Changmei Wang, Kai Wu, Fang Yin, Wudi Zhang // *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*. – 2020. – No. 46 (1). – P. 16545–16555.

6. Бондаренко, А.М. Современные технологии переработки навоза животноводческих предприятий в высококачественные органические удобрения / А.М. Бондаренко, Л.С. Качанова // Техника и технологии в животноводстве. – 2015. – № 4. – С. 135–141.
7. Рахманов, Н.И. Обзор основных особенностей переработки агропромышленных отходов / Н.И. Рахманов // Молодой ученый. – 2023. – № 52 (499). – С. 62–65.
8. Расчет массы ежегодно образующихся сельхозотходов [Электронный ресурс] / Федеральная служба государственной статистики. – URL: <https://rosstat.gov.ru/> (дата обращения: 20.01.2025).
9. Химический состав куриного помета [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.botanichka.ru/> (дата обращения: 05.06.2025).
10. Роль свеклосахарного производства в развитии отраслей АПК / М.И. Егорова, Л.Н. Пузанова, А.А. Колотовченко, Е.А. Бессонова, А.И. Стифеев // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2010. – № 6. – С. 48–51.
11. Свекловичная меласса в кормопроизводстве и способы ее сушки / Л.А. Текутьева, О.М. Сон, А.Б. Подволоцкая, А.С. Яценко // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2015. – № 5. – С. 23–27.
12. Шердани, А.Д. Инновационная пищевая свекловичная меласса. новый горизонт рентабельности и экологичности сахарного производства / А.Д. Шердани // Сахар. – 2021. – № 2. – С. 20–23.
13. Свекловичная меласса [Электронный ресурс]. – URL: <https://sugar.ru/node/14635> (дата обращения: 05.04.2025).
14. Чаптарова, Е.А. Получение биогаза из отходов переработки кукурузы / Е.А. Чаптарова, Н.В. Резапова, С.В. Степанова // Современные технологии в области защиты окружающей среды и техносферной безопасности: материалы Всерос. науч. конф. с междунар. участием. – Казань, 2024. – С. 537–539.
15. Сайфутдинова, Р.Д. Перспективы использования отходов сахарной промышленности в качестве сырья для получения биогаза / Р.Д. Сайфутдинова // Жить в XXI веке – 2025. Конкурсные работы на лучшую научно-исследовательскую работу студентов и аспирантов КНИТУ. – Казань, 2025. – С. 402–406.
16. Гурин, А.Г. Отходы сахарного производства как нетрадиционный вид органического удобрения и их влияние на основные показатели плодородия почвы в динамике / А.Г. Гурин, Ю.В. Басов, В.В. Гнеушева // Агротехника и энергообеспечение. – 2015. – № 5 (9). – С. 33–40.
17. Гурин, А.Г. Использование отходов сахарного производства как нетрадиционный вид органического удобрения / А.Г. Гурин, Ю.В. Басов, В.В. Гнеушева // Russian agricultural science review. – Т. 5, № 5-1. – 2015. – С. 260–263.
18. Получение органических удобрений из отходов городских зеленых насаждений / Р.Н. Алиев, З.К. Маймеков, К.Т. Баканов, С.Т. Чериков // Новости науки Казахстана. – № 3 (145). – 2020. – С. 222–230.

19. Сычев, В.Г. Перспективы использования инновационных форм удобрений, средств защиты и регуляторов роста растений в агротехнологиях сельскохозяйственных культур / В.Г. Сычев // Анапа–2018: материалы докл. участников 10-й науч.-практ. конф. / под ред. В.Г. Сычева. – М.: Плодородие, 2018. – С. 3–7.

20. Котляров, Д.В. Физиологически активные вещества в агротехнологиях / Д.В. Котляров, В.В. Котляров, Ю.П. Федулов; КубГАУ. – Краснодар, 2016. – 224 с.

21. Регуляторы роста растений в агротехнологиях основных сельскохозяйственных культур / О.А. Шаповал, И.П. Можарова, Т.Ю. Грабовская, А.А. Коршунов, А.С. Лазарева, М.Т. Мухина; ВНИИА. – М., 2015. – 348 с.

References

1. Shih, J.C.H. From Biogas Energy, Biotechnology to New Agriculture. *World's Poultry Science Journal*, 2012, vol. 68 (3). pp. 409–416.

2. Hadidi, Meryem, Bouchaib Bahlaouan, Said El Antri, Mohammed Benali, Nadia Boutaleb. Biotransformation of Food Waste to Bio-Products: Biogas and Biofertilizer. *International Journal of Environmental Studies*, 2022, vol. 80 (3). pp. 672–686.

3. El Barnossi, Azeddin, Hamza Saghrouchni, Fatimazahrae Moussaid, Naima Chahmi, Abdelilah Iraqi Housseini. Microbiological Study of Effects of Solid Organic Waste (Chicken Droppings and Sheep Manure) Decomposed in the Soil Used for Pisum Sativum Cultivation. *International Journal of Environmental Studies*, 2019, vol. 77 (5). pp. 830–842.

4. Rasool, N. M., Abbasoğlu, S., & Radmehr M. Techno-economic analysis to adopt a biogas plant for processing agricultural waste: a case study. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 2024, vol. 46(1). pp. 6922–6939.

5. Tang, Binbin, Mimi He, Yaojun Dong, Jianfeng Liu, Xingling Zhao, Changmei Wang, Kai Wu, Fang Yin, and Wudi Zhang. Effects of Different Forms of Vegetable Waste on Biogas and Methane Production Performances in a Batch Anaerobic Digestion Reactor. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 2020, vol. 46 (1). pp. 16545–16555.

6. Bondarenko A.M., Kachanova L.S. Sovremennie tekhnologii pererabotki navoza zhivotnovodcheskikh predpriyatii v visokokachestvennie organicheskie udobreniya [Modern technologies for processing livestock manure into high-quality organic fertilizers] *Tekhnika i tekhnologii v zhivonovodstve*, 2015, no 4, pp. 135–141.

7. Rakhmanov N. I. Obzor osnovnikh osobennostei pererabotki agropromishlennikh otkhodov [Overview of the main features of agro-industrial waste processing] *Molodoi uchenii*. 2023, no 52 (499), pp. 62–65.

8. Federalnaya sluzhba gosudarstvennoi statistiki <https://rosstat.gov.ru/> (data obrashcheniya 20.01.2025 g.)

9. Khimicheskii sostav kurinogo pometa <https://www.botanichka.ru/> (data obrashcheniya: 05.06.2025).

10. Egorova M.I., Puzanova L.N., Kolotovchenko A.A., Bessonova E.A., Stifeev A.I. Rol' sveklosaxarnogo proizvodstva v razvitii otraslej APK [The role of sugar beet production in the development of agricultural industries]. *Vestnik Kurskoj gosudarstvennoj sel'skoxozyajstvennoj akademii*, 2010, no. 6, pp. 48–51.

11. Tekut'eva L.A., Son O.M., Podvoloczka A.B., Yashhenko A.S. Sveklovichnaya melassa v kormoproizvodstve i sposoby ee sushki [Beet molasses in feed production and its drying methods]. *Xranenie i pererabotka sel'xozsy'r'ya*, 2015, no. 5, pp. 23–27.

12. Sherdani A.D. Innovacionnaya pishhevaya sveklovichnaya melassa. novyj gorizont rentabel'nosti i ekologichnosti saxarnogo proizvodstva [Innovative food grade beet molasses. a new horizon of profitability and environmental friendliness of sugar production]. *Saxar*, 2021, no. 2, pp. 20–23.

13. Sveklovichnaya melassa. – Tekst: elektronii // [sugar.ru: \[sait\]](http://sugar.ru: [sait]). – URL: <https://sugar.ru/node/14635> (data obrashcheniya: 05.04.2025).

14. Chaptarova E.A., Rezapova N.V., Stepanova S.V. Poluchenie biogaza iz otxodov pererabotki kukuruzy [Obtaining biogas from corn processing waste]. Sbornik trudov Vserossijskoj nauchnoj konferencii s mezhdunarodny'm uchastiem «Sovremennye tekhnologii v oblasti zashhity okruzhayushhej sredy i texnosfernoj bezopasnosti». Kazan 2024, pp. 537–539.

15. Saifutdinova R.D. Perspektivi ispol'zovaniya otkhodov sakharnoi promishlennosti v kachestve sirya dlya polucheniya biogaza [Prospects of using sugar industry waste as a raw material for biogas production] *Zhit v XXI veke - 2025. Sbohybk trudov konkursnikh rabot na luchshuyu nauchno-issledovatel'skuyu rabotu studentov i aspirantov KNITU*. Kazan, 2025, pp. 402–406.

16. Gurin A. G., Basov Yu. V., Gneusheva V. V. Otxody saxarnogo proizvodstva kak netradicionnyj vid organicheskogo udobreniya i ix vliyanie na osnovny'e pokazateli plodorodiya pochvy v dinamike [Sugar production waste as an unconventional type of organic fertilizer and its effect on the main indicators of soil fertility in dynamics]. *Agrotexnika i energoobespechenie*, 2015, no. 5 (9), pp. 33–40.

17. Gurin A.G., Basov Yu.V., Gneusheva V.V. Ispol'zovanie otxodov saxarnogo proizvodstva kak netradicionnyj vid organicheskogo udobreniya [The use of sugar production waste as an unconventional type of organic fertilizer]. *Russian agricultural science review*, 2015, vol. 5, no. 5(1), pp. 260–263.

18. Aliev R.N., Majmekov Z.K., Bakanov K.T., Cherikov S.T. Poluchenie organicheskix udobrenij iz otxodov gorodskix zeleny'x nasazhdenij [Obtaining organic fertilizers from waste from urban green spaces]. *Novosti nauki Kazaxstana*, 2020, no. 3 (145), pp. 222–230.

19. Sy'chev V.G. Perspektivy` ispol'zovaniya innovacionny`x form udobrenij, sredstv zashhity` i regulatorov rosta rastenij v agrotekhnologiyax sel'skoxozyajstvenny`x kul'tur [Prospects of using innovative forms of fertilizers, protective agents and plant growth regulators in agricultural technologies of agricultural crops] Sbornik trudov nauchno-prakticheskoy konferencii « Anapa-2018». 2018, pp. 3–7.

20. Kotlyarov D.V., Kotlyarov V.V., Fedulov Yu.P. Fiziologicheski aktivny`e veshhestva v agrotekhnologiyax [Physiologically active substances in agricultural technologies]. Krasnodar: *KubGAU*, 2016, 224 p.

21. Shapoval O.A., Mozharova I.P., Grabovskaya T.Yu., Korshunov A.A., Lazareva A.S., Muxina M.T. Regulatory` rosta rastenij v agrotekhnologiyax osnovny`x sel'skoxozyajstvenny`x kul'tur [Plant growth regulators in agrotechnologies of major crops]. Moscow: VNIIA, 2015, 348 p.

Об авторах

Сайфутдинова Рамиля Дамировна (Казань, Российская Федерация) – магистрант кафедры инженерной экологии Казанского национального исследовательского технологического университета (420015, г. Казань, ул. К. Маркса, 68, e-mail: zai02@inbox.ru).

Мяскинова Эльза Антоновна (Казань, Российская Федерация) – студент кафедры инженерной экологии Казанского национального исследовательского технологического университета (420015, г. Казань, ул. К. Маркса, 68, e-mail: elzamiftahutdinova@gmail.com).

Степанова Светлана Владимировна (Казань, Российская Федерация) – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры инженерной экологии Казанского национального исследовательского технологического университета (420015, г. Казань, ул. К. Маркса, 68, e-mail: ssvkan@yandex.ru).

About the authors

Ramilya D. Sayfutdinova (Kazan, Russian Federation) – Master's Degree in Environmental Engineering from Kazan National Research Technological University (68, K. Marx St., Kazan, 420015, e-mail: zai02@inbox.ru).

Elza A. Myaskinova (Kazan, Russian Federation) – Student of the Department of Environmental Engineering at Kazan National Research Technological University (68, K. Marx St., Kazan, 420015, e-mail: elzamiftahutdinova@gmail.com).

Svetlana V. Stepanova (Kazan, Russian Federation) – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Environmental Engineering, Kazan National Research Technological University (68, K. Marx St., Kazan, 420015, e-mail: ssvkan@yandex.ru).

Поступила: 21.07.2025

Одобрена: 25.07.2025

Принята к публикации: 28.07.2025

Финансирование. Работа не имела спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов равноценен.

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:

Сайфутдинова, Р.Д. Комплексная переработка отходов сельского хозяйства / Р.Д. Сайфутдинова, Э.А. Мяскинова, С.В. Степанова // Вестник ПНИПУ. Химическая технология и биотехнология. – 2025. – № 3. – С. 163–178.

Please cite this article in English as:

Sayfutdinova R.D., Myaskinova E.A., Stepanova S.V. Production of complex fertilizer from agricultural waste. *Bulletin of PNRPU. Chemical Technology and Biotechnology*, 2025, no. 3, pp. 163-178 (*In Russ*).