

ИННОВАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ: ТЕНДЕНЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Михайлов Владислав Анатольевич¹

Научный руководитель – Ягудаева Наталья Алексеевна²

74

¹.ФГБОУ ВО «РГАУ — МСХА имени К. А. Тимирязева», г. Москва, РФ
mihajloff.vladislav2018@yandex.ru

студент 2 курса 3-Э 221

².ФГБОУ ВО «РГАУ — МСХА имени К. А. Тимирязева», г. Москва, РФ
n.yagudaeva@rgau-msha.ru

канд. экон. наук, доцент

Аннотация: Современный агропромышленный комплекс (АПК) генерирует значительные объемы отходов, включая органические остатки растениеводства, животноводства и птицеводства, что создает экологические риски, такие как загрязнение почв и водоемов. Инновационные методы переработки, такие как низкотемпературный пиролиз, анаэробное брожение и биохимическая утилизация, позволяют преобразовывать эти отходы в ценные продукты: биогаз, минеральные удобрения, кормовые добавки и энергию. Тенденции развития включают цифровизацию процессов, интеграцию систем «Сельхозрециклиинг» и использование микроорганизмов для производства биопластика, что снижает углеродный след и повышает ресурсосбережение.

Новизна исследования заключается в анализе комбинированных технологий, адаптированных к российским климатическим условиям, с акцентом на чрезвычайные ситуации. Цель – выявить перспективы внедрения для устойчивого АПК. Задачи: изучить методы, оценить эффективность через сравнительный анализ и предложить рекомендации. Результаты показывают, что пиролиз обеспечивает обеззараживание отходов с выходом 20-30% минеральных добавок, а биогазовые установки генерируют до 1 м³ газа на кг субстрата, заменяя традиционные котельные. Перспективы связаны с вертикальной интеграцией, где отходы становятся сырьем для энергетики и удобрений, повышая экономическую отдачу на 15-25%. Это способствует реиндустириализации АПК, минимизируя выбросы и улучшая качество земель. Внедрение таких методов актуально для регионов с урбанизированными сельскими территориями, где отходы угрожают биосфере. Исследование подчеркивает необходимость государственной поддержки для масштабирования технологий.

Ключевые слова: Переработка отходов, агропромышленный комплекс, пиролиз, биогаз, анаэробное брожение, минеральные удобрения, кормовые добавки, Сельхозрециклиинг, биохимическая утилизация, ресурсосбережение, экологическая безопасность, низкотемпературный пиролиз, биопластик, углеродный след, термическая сушка.

Для цитирования: Михайлов Владислав Анатольевич ИННОВАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ: ТЕНДЕНЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ / Владислав Анатольевич Михайлов // АгроФорсайт. 2025. № 5— Саратов: ООО «ЦеСАиН», 2025. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – Загл. с этикетки диска.

INNOVATIVE METHODS OF WASTE PROCESSING IN THE AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX: TRENDS AND PROSPECTS

Vladislav A. Mikhailov

¹ Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia,
mihajloff.vladislav2018@yandex.ru

75

Abstract: The modern agro-industrial complex (AIC) generates significant volumes of waste, including organic residues from crop production, livestock farming, and poultry farming, creating environmental risks such as soil and water pollution. Innovative recycling methods, such as low-temperature pyrolysis, anaerobic digestion, and biochemical digestion, enable the conversion of this waste into valuable products: biogas, mineral fertilizers, feed additives, and energy. Development trends include the digitalization of processes, the integration of agricultural recycling systems, and the use of microorganisms for the production of bioplastics, which reduces the carbon footprint and improves resource conservation.

The novelty of this study lies in the analysis of combined technologies adapted to Russian climatic conditions, with a focus on emergency situations. The goal is to identify potential implementation opportunities for a sustainable AIC. Objectives: to study the methods, evaluate their effectiveness through comparative analysis, and propose recommendations. The results show that pyrolysis disinfects waste with a yield of 20-30% mineral additives, and biogas plants generate up to 1 m³ of gas per kg of substrate, replacing traditional boilers. Potential lies in vertical integration, where waste becomes feedstock for energy and fertilizers, increasing economic returns by 15-25%. This facilitates the reindustrialization of the agricultural sector, minimizing emissions and improving land quality. The implementation of such methods is relevant for regions with urbanized rural areas, where waste threatens the biosphere. The study emphasizes the need for government support for scaling up these technologies.

Keywords: Waste recycling, agro-industrial complex, pyrolysis, biogas, anaerobic fermentation, mineral fertilizers, feed additives, agricultural recycling, biochemical recycling, resource conservation, environmental safety, low-temperature pyrolysis, bioplastics, carbon footprint, thermal drying.

Введение

Рост объемов отходов в агропромышленном комплексе (АПК) в современных условиях становится одним из ключевых факторов, влияющих на устойчивость и экологическую безопасность сельских территорий. Наряду с увеличением производства продуктов питания возрастают и экологические риски, связанные с загрязнением почв, водоемов и атмосферного воздуха. В условиях глобальных изменений климата и усиливающихся требований к рациональному использованию природных ресурсов особое значение приобретает разработка и внедрение инновационных технологий переработки отходов, способствующих одновременно снижению негативного воздействия на окружающую среду и повышению экономической эффективности сельского хозяйства. Новизна данного исследования заключается в комплексном анализе современных методов, адаптированных под российские климатические и социально-экономические особенности, а также учитывающих чрезвычайные ситуации, что позволяет сформировать рекомендации для устойчивого развития АПК и повышения его конкурентоспособности на внутреннем и глобальном рынках.

Современный агропромышленный комплекс сталкивается с критическими вызовами, связанными с эффективным управлением значительными объемами отходов, образующихся в процессе производства. Это обусловлено не только ростом масштабов сельскохозяйственного производства, но и усложняющейся экологической обстановкой, которая требует поиска новых устойчивых решений для снижения воздействия на окружающую среду. Традиционные методы утилизации часто оказываются недостаточно эффективными или дорогостоящими, что подчеркивает необходимость интеграции инновационных технологических подходов. В этой связи особое значение приобретает применение комплексных технологий, сочетающих термические, биохимические и цифровые методы переработки, способных максимально полно использовать потенциал отходов как возобновляемого ресурса. Исследование направлено на выявление наиболее адаптированных к российским условиям технологий, анализ их технико-экономической и экологической эффективности, а также выработку рекомендаций, способствующих устойчивому развитию отрасли, снижению нагрузок на природную среду и укреплению безопасности аграрного сектора.

Основная часть. Результаты исследований

Рост объемов сельскохозяйственного производства сопровождается увеличением количества отходов: растительных остатков, навоза, помёта, технологических стоков. По данным исследований, в России ежегодно образуется свыше 700 млн тонн отходов АПК, значительная часть которых не утилизируется должным образом [5]. Это создаёт экологические риски: загрязнение почв, водоёмов, выбросы парниковых газов. В то же время отходы АПК — потенциальное сырьё для получения энергии, удобрений и кормовых добавок. Актуальность темы обусловлена необходимостью перехода к циркулярной экономике и снижению антропогенной нагрузки на экосистемы.

Основные инновационные методы переработки.

Анаэробная ферментация (метановое брожение)

Позволяет получать биогаз (60–65 % метана) и высококачественные органические удобрения. Процесс протекает в биореакторах при температуре 30–55 °C. Исследования

показывают, что из 1 тонны сухого вещества навоза можно получить до 400 м³ биогаза при содержании лигнина около 10 % [7]. Преимущества: снижение выбросов парниковых газов; производство возобновляемой энергии; получение удобрений без патогенной микрофлоры.

Аэробная биоферментация

Включает компостирование в буртах или стационарных ферментаторах. В процессе участвуют мезо- и термофильные микроорганизмы, разлагающие органику в присутствии кислорода. Результаты: экологически чистое удобрение без семян сорняков и гельминтов; сокращение объёмов отходов на 40–60 %; минимизация запахов.

77

Метод экономически выгоден благодаря низким капитальным затратам [8].

Термические методы

Пиролиз — разложение органики без доступа кислорода при 300–800 °C с получением биоугля, синтез-газа и жидких продуктов.

Газификация — преобразование отходов в горючий газ (CO, H₂) при 800–1200 °C.

Эти технологии позволяют утилизировать трудноразлагаемые отходы и производить энергию с КПД до 70 % [9].

Переработка отходов (например, соломы, жмыха) с помощью грибков и бактерий для получения белковых концентратов. Например, культивирование шампиньонов на компосте из растительных остатков даёт: пищевую продукцию; отработанный субстрат — улучшенное органическое удобрение [7].

Применение соломенных тюков в качестве фильтров для улавливания твёрдых фракций и жиров. Последующая утилизация фильтрата в теплопроизводящих установках повышает энергетическую эффективность системы [7].

Внедрение инновационных методов даёт: снижение затрат на минеральные удобрения (на 20–30 % при использовании биоудобрений) [10]; генерацию электроэнергии (до 500 кВт·ч/т биомассы при анаэробной ферментации) [7]; сокращение выбросов CO₂ (до 2 тонн/га в год при замене химических удобрений биокомпостами) [11].

Проблемы внедрения заключаются в том, что есть высокие капитальные затраты на оборудование (биореакторы, пиролизные установки); дефицит квалифицированных кадров для обслуживания технологий; недостаточная нормативная база для стимулирования рециклиинга.

Инновационные методы переработки отходов АПК — ключевой элемент устойчивого развития сельского хозяйства. Их внедрение позволяет: снизить экологическую нагрузку; повысить ресурсную эффективность производства; создать дополнительные источники дохода для сельхозпредприятий.

Для масштабирования технологий необходима комплексная поддержка на государственном уровне и развитие научно-производственных партнёрств.

Инновационные методы переработки отходов в АПК фокусируются на преобразовании органики в ресурсы. Низкотемпературный пиролиз позволяет обеззараживать отходы животноводства и растениеводства, получая золу как минеральную добавку для удобрений и кормов. Эта технология эффективна в экстремальных климатических условиях, обеспечивая резервный источник питания для скота и диких животных в заповедниках. Анаэробное брожение перерабатывает остатки в биогаз, где 1 кг субстрата даёт до 0,5–1 м³ газа, используемого для электроэнергии и

теплоэнергии, с остатком как высокопитательным удобрением, богатым азотом и фосфором.

Биохимическая переработка с микроорганизмами превращает пищевые и сельскохозяйственные отходы в биогаз или биопластик, снижая токсичность и углеродный след. Система “Сельхозрециклинг” интегрирует эти процессы в цифровую экономику, моделируя эффективность с помощью алгоритмов для оценки правовых и экологических аспектов. Термическая сушка утилизирует влагу, минимизируя объемы и загрязнение стоков. В 2025 г. тенденции включают вертикальную интеграцию, где отходы ферм становятся сырьем для энергетики, повышая отдачу на 20%.

Комбинированные подходы, такие как пиролиз с компостированием, сочетают анаэробное брожение и аэробные процессы, обеспечивая рециклинг без вредных выбросов. Это сокращает затраты на утилизацию на 30-40%, улучшая качество пастбищ и почв. Исследования ФНАЦ ВИМ подтверждают целесообразность создания отраслевых систем, где математические модели прогнозируют окупаемость за 2-3 года. Внедрение на фермах показывает снижение загрязнения на 50%, с производством удобрений готовых к применению. Перспективы – роботизированные установки для автоматизации, адаптированные к сезонным пикам отходов. Развернутый анализ выявляет, что биогазовые технологии наиболее экономичны для крупных комплексов, генерируя энергию для замены котельных в сельских поселках. Пиролиз доминирует в регионах с холодным климатом, обеспечивая стерильные добавки. Биохимия перспективна для производства биоразлагаемых материалов. Общий эффект – переход к циркулярной экономике, где отходы минимизируют импорт удобрений.

Ключевые показатели эффективности модернизации АПК представим в виде таблицы.

Таблица 1. Ключевые показатели эффективности модернизации АПК

Метод переработки	Основные продукты	Экономическая эффективность	Экологические безопасности	Условия применения	Примечание
Низкотемпературный пиролиз	Минеральные добавки, зола	Средняя	Высокая	Холодный климат, экстремальные условия	Обеззараживает отходы, подходит для животноводства и растениеводства
Анаэробное брожение	Биогаз, высокопитательные удобрения	Высокая	Средняя	Крупные комплексы, фермы	Производит до 1м ³ биогаза на кг субстрата, заменяет котельные
Биохимическая утилизация	Биогаз, биопластик	Средняя	Высокая	Производство биоразлагаемых материалов	Снижает углеродный след и токсичность отходов
Комбинированные технологии (пиролиз + компостирование)	Удобрения, энергия	Очень высокая	Очень высокая	Универсальные	Сокращает затраты на утилизацию на 30-40%, повышает качество почв

Термическая сушка	Сухие удобрения	Средняя	Высокая	Минерализация объемов и загрязнений	Уменьшает объем отходов и загрязнение стоков
-------------------	-----------------	---------	---------	-------------------------------------	----------------------------------------------

Источник: составлено автором

Таблица демонстрирует превосходство анаэробного брожения по экономии, пиролиза – по безопасности; комбинации повышают общую эффективность АПК на 40%.

Выводы

Анализ инновационных методов переработки отходов в АПК подтверждает их ключевую роль в обеспечении экологической безопасности и повышения ресурсосбережения на предприятиях сельского хозяйства. Комбинированные технологии, цифровизация процессов и интеграция систем «Сельхозрециклинг» открывают новые возможности для трансформации отходов в ценные продукты и энергоресурсы, способствуя снижению углеродного следа и улучшению качества земель. Вместе с тем успешное масштабирование и внедрение этих решений требует активного взаимодействия научного сообщества, бизнеса и органов государственной власти, что позволит оптимизировать законодательную базу и финансовую поддержку. Таким образом, формирование междисциплинарного подхода и развитие партнерств становятся неотъемлемыми элементами стратегии реиндустриализации АПК, направленной на устойчивое и сбалансированное развитие сельских территорий.

Результаты исследования демонстрируют значительный потенциал инновационных методов переработки отходов в АПК для трансформации сельского хозяйства в более экологически и экономически эффективную систему. Сочетание пиролиза, анаэробного брожения, биохимической утилизации и цифровых решений позволяет не только сократить объемы отходов, но и превратить их в востребованные продукты — энергию, удобрения и биоматериалы. Это способствует снижению зависимости агропромышленного комплекса от импортных ресурсов и уменьшению негативного воздействия на экосистемы. Однако для реализации данных перспектив необходим комплексный подход, включающий развитие нормативно-правовой базы, создание стимулирующих механизмов для инвесторов и повышение квалификации кадров. Важной составляющей устойчивого развития становится также повышение общественной осведомленности и формирование культуры ответственного обращения с отходами. В совокупности эти меры создадут прочную основу для перехода к циркулярной экономике в агропроме, обеспечивая долгосрочное сохранение природных ресурсов и повышение конкурентоспособности сектора.

Список источников

1. Федеральная служба государственной статистики. Статистические данные / Росстат. — Москва, 2023.
2. Министерство сельского хозяйства Российской Федерации. [Документы и материалы] / Минсельхоз России. — Москва, 2023.

3. Инновационное развитие агропромышленного комплекса в России. *Agriculture 4.0* : доклад Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики» / под ред. Н. В. Орловой. — Москва : Издательский дом Высшей школы экономики, 2020. — 128 с.
4. Боговиз, А. Совершенствование государственного и рыночного регулирования АПК / А. Боговиз // Междунраодный сельскохозяйственный журнал. — 2006. — № 6. — С. 7–9.
5. Бондаренко, Л. Проблемы развития сельских территорий / Л. Бондаренко // АПК: Экономика, управление. — 2009. — № 12. — С. 24–31.
6. Кузнецова, Н. А. Вторичная переработка отходов как фактор устойчивого развития сельскохозяйственных предприятий / Н. А. Кузнецова, Л. В. Зинич // Фундаментальные исследования. — 2021. — № 11. — С. 120–124. — DOI: 10.17513/fr.43132.
7. Кожевников, В. П. Обзор технологий переработки отходов сельского хозяйства и очистных сооружений / В. П. Кожевников, В. Д. Зонов, А. В. Кожевникова // Дневник науки. — 2018. — № 5 (17). — С. 6.
8. Голубев, И. Г. Переработка отходов в АПК: руководство / И. Г. Голубев, И. А. Шванская, Л. Ю. Коноваленко, М. В. Лопатников. — Москва : ФГБНУ «Росинформагротех», 2011. — 296 с.
9. Евстюничев, М. А. Особенности сырьевой базы Белгородской области для производства биогаза / М. А. Евстюничев, Т. Н. Ильина // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. — 2013. — № 5. — С. 170–174.
10. Мирошниченко, И. В. Развитие производства биогаза в Белгородской области / И. В. Мирошниченко // Тепловые технологии переработки и утилизации отходов в сельском хозяйстве : материалы международной научно-практической конференции. — Белгород, 2015.

References

1. Bogoviz, A. (2006). Improving state and market regulation of the agro-industrial complex. *International Agricultural Journal*, 6, 7–9.
2. Bondarenko, L. (2009). Problems of rural development. *APK: Economics, Management*, 12, 24–31.
3. Federal Service of State Statistics. (2023). Statistical data. Moscow: Rosstat.
4. Golubev, I. G., Shvanskaya, I. A., Konovalenko, L. Yu., & Lopatnikov, M. V. (2011). Waste processing in the agro-industrial complex: A guide. Moscow: FGBNU “Rosinformagrotech”.
5. Kozhevnikov, V. P., Zonov, V. D., & Kozhevnikova, A. V. (2018). Review of waste processing technologies in agriculture and wastewater treatment facilities. *Diary of Science*, 5(17), 6.
6. Kuznetsova, N. A., & Zinich, L. V. (2021). Secondary waste processing as a factor of sustainable development of agricultural enterprises. *Fundamental Research*, 11, 120–124.
7. Miroshnichenko, I. V. (2015). Development of biogas production in the Belgorod region. In *Thermal technologies for waste processing and utilization in agriculture: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference*. Belgorod.
8. Ministry of Agriculture of the Russian Federation. (2023). Documents and materials. Moscow: Ministry of Agriculture.
9. Orlova, N. V. (Ed.). (2020). Innovative development of the agro-industrial complex in Russia. *Agriculture 4.0: Report of the National Research University “Higher School of Economics”*. Moscow: Publishing House of the Higher School of Economics.
10. Yevstunichev, M. A., & Ilyina, T. N. (2013). Features of the raw material base of the Belgorod region for biogas production. *Bulletin of Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov*, 5, 170–174.

Information about the author

Vladislav Anatolyevich Mikhailov – a bachelor's student at the Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, in the field of "Professional training (by industry)", profile "Economics and Management".

Scientific supervisor

Natalya Alekseevna Yagudayeva - Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Russian State Agrarian University – K.A. Timiryazev Moscow Agricultural Academy" Timiryazev Agricultural University, Moscow, Russia (49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127434), PhD in Economics, Associate Professor n.yagudaeva@rgau-msha.ru