

Переработка сельскохозяйственных отходов: рынок органических удобрений и производство органических пищевых продуктов

Агапкин Александр Матвеевич

ФГБОУ ВО «РЭУ им. Г.В. Плеханова»
117997, Россия, г. Москва, Стремянный пер., д. 36
E-mail: alex_agapkin@mail.ru

Махотина Ирина Алексеевна

ФГБОУ ВО «РЭУ им. Г.В. Плеханова»
117997, Россия, г. Москва, Стремянный пер., д. 36
E-mail: irina_mahotina@mail.ru

Ежегодно общее количество сельскохозяйственных отходов в России достигает 630–650 млн т. С одной стороны, это создает серьезные экологические и санитарные проблемы, т.к. практически половину из этих отходов составляет навоз и помет. С другой стороны эти отходы представляют собой незаменимый источник сырья для производства органических удобрений в объемах, которые позволяют говорить о формировании на этой ресурсной базе новой отрасли производства органических удобрений. Научной новизной подхода, изложенного в статье, является увязка предлагаемых путей организации крупномасштабной переработки сельскохозяйственных отходов и формирования рынка органических удобрений с развитием сопряженной быстрорастущей отрасли производства органической сельскохозяйственной продукции и рынка органической сельскохозяйственной продукции. Проблема рассмотрена в рамках междисциплинарного подхода во взаимосвязи регуляторной, экологической, климатической, экономической и технологической составляющих. Представлена информация о законодательном обеспечении сферы органического земледелия и производства органических удобрений. Предложены конкретные меры для стимулирования взаимосвязанного развития отрасли переработки отходов в органические удобрения и отрасли производства органической продукции. Рост российского рынка органических продуктов с 2010 г. составлял в среднем 10 % в год. При этом в период 2015 – 2016 гг. он снижался до 4 %, но в 2017–2019 годах ситуация с развитием органики восстановилась, и сейчас наблюдается устойчивый рост 8–10% в год. Особое внимание уделено приоритетным технологиям переработки отходов в органические удобрения, рассмотрены установки на основе турбовихревых измельчительно-сушильных машин для производства высоконцентрированных сухих мелкодисперсных органических удобрений и установки на основе аэрационных реакторов (биотраншей) для использования в масштабном производстве.

Ключевые слова: производство органической продукции, органические удобрения, сельскохозяйственные отходы, навоз, биоферментер, окружающая среда, экология

Введение

Навоз использовался как полезная почвенная добавка с самого начала цивилизации и был основной добавкой, используемой в сельском хозяйстве до появления химических удобрений в 1940-х годах. Сегодня навоз по-прежнему считается ценным сельскохозяйственным ресурсом, поскольку он является важным источником питательных веществ для растений и, как известно, улучшает физические и биологические свойства почвы за счет добавления органических веществ. Тем не менее, за последние сто лет произошли серьез-

ные изменения в восприятии ценности сельскохозяйственных отходов. Навоз и помет перестают рассматриваться как ценное удобрение природного происхождения, а начинают восприниматься как проблемный избыточный отход. Вопросам переработки сельскохозяйственных отходов посвящено большое число исследований (Архипченко & Рулкенс, 2006; Архипченко, Бакина, Брюханов, Орлов, & Тарасов, 2020; Брюханов, 2017; Bot & Benites, 2005), и, несмотря на это, практического результата, выраженного в росте объемов переработки отходов и доли применения органических удобрений, все нет.

Вопрос должен рассматриваться в пределах межотраслевой производственно-хозяйственной цепочки от формирования отходов и их переработки в органическое удобрение до выращивания органической продукции и ее реализации конечным потребителям. Такая цепочка в каждом звене формирует требования к следующему ее звену – достичь целевых результатов, измеряемых в показателях: удовлетворенности потребителей качеством и ассортиментом сельскохозяйственной продукции; соответствующего повышения качества и урожайности сельскохозяйственной продукции за счет масштабного использования эффективных органических удобрений.

Органическое земледелие формирует спрос на производство органических удобрений, отсюда возникает потребность в соответствующих технологиях, оборудовании для экологической малозатратной переработки сельскохозяйственных отходов в удобрения.

Сельское хозяйство и связанные с ним другие отрасли агропромышленного комплекса (хранение продукции растениеводства, переработка сельскохозяйственной продукции, кормопроизводство, пищевая промышленность) ежегодно производят только в России сотни миллионов тонн органических отходов. Ежедневно в стране производится около полумиллиона тонн навоза, помета и стоков, при этом большая часть производимого объема никак не используется (Могилевцев и др., 2012). По данным объем сельскохозяйственных отходов достигает 630–650 млн т. Большая часть приходится на животноводство (56%) и растениеводство (35,6%). На птицеводство – 3,7%¹. На долю перерабатывающих отраслей приходится 4,7% отходов.

В целом по миру (включая потери уже произведенного продовольствия) количество сельскохозяйственных отходов достигает миллиарды тонн (Nagendran, 2011; Kaza, Yao, Bhada-Tata, & Van, 2018).

Эти отходы создают серьезные экологические и санитарные проблемы, т.к. практически половину из этих отходов составляет навоз (в России, примерно, 300 млн тонн ежегодно). Навоз и помет при определенных условиях могут стать источником распространения инфекционных и инвазионных

заболеваний животных и человека. Также в навозе в значительных количествах присутствуют семена сорных растений, что приводит к серьезным экономическим последствиям при производстве продукции растениеводства.

При этом данные сельскохозяйственные отходы являются ценным сырьем при производстве органических удобрений с последующим их применением в органическом земледелии. Курица-несушка производит в год около 0,8 кг азота и 0,2 кг фосфора^{2,3}.

Таким образом, с одной стороны, исходный навоз является ценным органическим удобрением, а с другой – непосредственное его использование без предварительной подготовки представляет серьезную экологическую опасность для окружающей среды, животных и людей.

Решение, которое позволит устранить экологический вред сельскохозяйственных отходов, и, одновременно, вовлечь эти отходы в коммерческий оборот в качестве ценного сырья, используемого для получения органических удобрений, может быть только комплексным, состоящим из следующих компонентов:

- государственная политика, направленная на развитие органического земледелия и бережного отношения к природной среде, подкрепленная законодательной базой (регулятивная компонента решения);
- экономическая составляющая – стимулирование полной переработки сельскохозяйственных отходов и экономически выгодное использование продуктов такой переработки (органических удобрений), формирование конкурентного рынка указанных продуктов (экономическая компонента решения);
- технологии и оборудование, которые обеспечат в промышленном масштабе эффективную переработку отходов в полезные продукты, конкурентоспособные по своим потребительским качествам и цене (технологическая компонента решения).

Ограничим рамки рассмотрения обозначенной выше проблемы и путей ее решения использованием отходов в качестве сырья только для про-

¹ Голубев, И. Г., Шванская, И. А., Коноваленко, Л. Ю., & Лопатников, М. В. (2011). Рециклинг отходов в АПК: Справочник. М.: Росинформагротех.

² Там же.

³ РД-АПК 1.10.15.02-17. (2017). Методические рекомендации по технологическому проектированию систем удаления и подготовки к использованию навоза и помета. М.: Росинформагротех.

изводства органических удобрений и оставим за рамками рассмотрения направление переработки отходов в биогаз для энергообеспечения сельскохозяйственных или иных производств, а также сжигания отходов для получения тепла или в целях их уничтожения. Органические отходы должны возвращаться в максимально полном объеме в систему растениеводства в виде органических удобрений для сохранения естественного природного цикла движения биомассы для поддержания плодородия почв. Органическое вещество нужно почве и растениям не только из-за его ценных питательных качеств, но и как среда обитания почвенных бактерий, активизирующих находящиеся в инертной, труднодоступной для растений форме минеральные компоненты почвы, а также как материал для образования в почве необходимых для питания растений и почвенных структур влаго- и воздухообмена и условий для развития почвенной микробиоты.

Регулятивная компонента

Проблема сельскохозяйственных отходов имеет государственную значимость. Согласно исследованию (Брюханов, 2017; Могилевцев и др., 2012) на территории Российской Федерации только птицеводством и животноводством ежегодно создается около 300 млн. т органических отходов, в том числе птицеводством – 85 млн. т. Структура распределения этого вида отходов по видам сельскохозяйственных животных выглядит следующим образом: крупный рогатый скот – 217 млн т, свиного навоза – 46 млн т, помета птицы – 17 млн т, навоза других видов животных – 6 млн т в год⁴.

Безопасное использование сельскохозяйственных отходов предполагает реализацию следующих принципов:

- контроль за здоровьем домашнего скота: запрет на использование навоза от любого домашнего скота, имеющего проблемы со здоровьем (зоонозы, трансмиссивная губчатая энцефалопатия и т.д.);

- опасные виды отходов должны быть исключены из любого использования и направлены на уничтожение;
- предварительная обработка: перед утилизацией определенные категории отходов требуют контролируемой санитарной обработки путем термической обработки (например, пастеризация при 70 °C в течение 1 часа, стерилизация под давлением и т.д.);
- наблюдение и регулярный контроль эффективности снижения содержания патогенов (Seadi & Holm-Nielsen, 2004).

С 2015 года Федеральный закон № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» предусматривает гармонизацию отечественного экологического законодательства с международным путем применения наилучших доступных технологий (НДТ).

К областям применения НДТ отнесена деятельность по разведению свиней и сельскохозяйственной птицы, а также деятельность тех предприятий, на которых ежедневно образуется более 50 тонн отходов (сюда относятся крупные фермы крупного рогатого скота)⁵.

В России разработаны и введены в действие: ГОСТ Р 113.00.01-2019 «Наилучшие доступные технологии»⁶, Методические рекомендации по определению технологии в качестве наилучшей доступной технологии, утвержденные приказом Минпромторга России № 3134 от 23.08.2019 г.⁷; Информационно-технические справочники по наилучшим доступным технологиям^{8,9}.

На законодательном уровне разработан комплект поощрительных мер для компаний, применяющих НДТ. К таким мерам относится освобождение от платежей за негативное воздействие на окружающую среду, льготное налогообложение, субсидирование процентных платежей по кредитам.

На владельца сельскохозяйственных отходов возложена обязанность понизить класс опасности отходов до пятого при их утилизации. В том случае, если собственник таких отходов не планирует их

⁴ Голубев, И. Г., Шванская, И. А., Коноваленко, Л. Ю., & Лопатников, М. В. (2011). Рециклинг отходов в АПК: Справочник. М.: Росинформагротех.

⁵ Распоряжение Правительства РФ N 2674-р. Об утверждении Перечня областей применения наилучших доступных технологий. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_172794/ (дата обращения: 14.08.2021).

⁶ ГОСТ Р 113.00.01-2019. (2019). Наилучшие доступные технологии. Система стандартов наилучших доступных технологий. Общие положения. М.: Стандартинформ.

⁷ Приказ Минпромторга. (2019). Об утверждении методических рекомендаций по определению технологии в качестве наилучшей доступности технологии. URL: <https://minpromtorg.gov.ru/docs/#!/44624> (дата обращения: 15.06.2021).

⁸ ИТС 41-2017. (2017). Интенсивное разведение свиней. М.: Бюро НДТ.

⁹ ИТС 42-2017. (2017). Интенсивное разведение сельскохозяйственной птицы. М.: Бюро НДТ.

дальнейшее использование, то он осуществляет платеж за негативное воздействие, оказываемое такими отходами на окружающую среду. Суммы платежей определяются государством. Так, в 2021 году их размер составил около 1450 руб/т в год за отходы третьего класса опасности, более 700 руб/т в год за отходы четвертого класса и чуть более 30 руб/т за отходы пятого класса¹⁰.

Распределение навоза и помета по классам опасности для окружающей среды осуществляется следующим образом: к пятому классу опасности отнесен перепревший навоз крупного рогатого скота, хранившийся не менее шести месяцев; к четвертому – свежий навоз крупного рогатого скота и перепревший свиной навоз, хранившийся не менее года; к третьему – свежий свиной навоз, а также птичий помет¹¹.

Исходя из выше обозначенного, можно утверждать, что политика на основе НДТ и новые требования экологического законодательства обязывают, а экономические инструменты (штрафы, льготы, субсидии, преференции) должны побуждать птицеводческие и животноводческие предприятия организовать полную и эффективную утилизацию отходов в соответствии с НТД.

Но, это одна половина требуемого решения в составе регуляторной компоненты. Вторая половина, остающаяся до последнего времени незатронутой, это политика в отношении регулирования и поддержки органического земледелия как основного потребителя продуктов переработки отходов (органического удобрения). Без этой второй части регуляторной компоненты переработчики отходов будут наталкиваться на трудно преодолимый барьер отсутствия спроса на органическое удобрение, который лишь частично можно решить повышением штрафов за невыполнение требо-

ваний по утилизации отходов или их ненадлежащую (с нарушением правил) утилизацию.

В последние годы в сфере регулирования производства органической продукции также отмечаются положительные тенденции (Коршунов, Любовецкая, Асатурова, Исмаилов, & Коноваленко, 2019). С 2020 года вступил в действие ФЗ №280 от 3 августа 2018 года «Об органической продукции»¹². Параллельно с законом шла разработка национальных стандартов, посвященных производству и обороту органических продуктов, а также процедуре сертификации производителей. К таким документам относятся: Межгосударственный стандарт ГОСТ 33980-2016 «Продукция органического производства, правила производства, переработки, маркировки и реализации»¹³, ГОСТ Р 57022-2016 «Продукция органического производства. Порядок проведения добровольной сертификации органического производства»¹⁴; ГОСТ Р 56104-2014 «Продукты пищевые органические. Термины и определения»¹⁵. Также в процессе подготовки находятся стандарты, посвященные органической продукции из дикорастущего сырья; оценке качества почв для производства органической продукции в растениеводстве, плодоводстве и выращивании кормов и стандарт на биопрепараты для защиты растений. Помимо этого, необходимо отредактировать уже существующие стандарты в соответствии с замечаниями IFOAM¹⁶.

С прошлого года Минсельхоз России начал вести в электронном виде Единый реестр производителей органической продукции¹⁷.

Помимо нормативно-правовой базы, также складывается институциональная основа формирования рынка органической продукции на государственном уровне, а также на уровне товаропроизводителей, профессиональных и общественных ассоциаций производителей ор-

¹⁰ Постановление Правительства РФ N 913. О ставках платы за негативное воздействие на окружающую среду и дополнительных коэффициентах. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_204671/24bedf438cb57123e864ba598a271912f8736b86/ (дата обращения: 14.08.2021).

¹¹ Приказ Росприроднадзора N 242. Об утверждении Федерального классификационного каталога отходов. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_218071/14e27bd2340877b6c93f67bb68c8546e6d987308/ (дата обращения: 14.08.2021).

¹² ФЗ № 280-ФЗ. Об органической продукции и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации. URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/43456> (дата обращения: 14.08.2021).

¹³ ГОСТ 33980-2016. (2016). Межгосударственный стандарт. Продукция органического производства. М.: Стандартинформ.

¹⁴ ГОСТ Р 57022-2016. (2016). Продукция органического производства. Порядок проведения добровольной сертификации органического производства. М.: Стандартинформ.

¹⁵ ГОСТ Р 56104-2014. (2014). Продукты пищевые органические. Термины и определения. М.: Стандартинформ.

¹⁶ Приказ Росстандарта N 1732. О внесении изменений в Программу национальной стандартизации на 2020 год, утвержденную приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 1 ноября 2019 г. N 2612. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_366764/ (дата обращения: 14.08.2021).

¹⁷ 35 российских производителей органической продукции получили сертификаты соответствия с начала года. URL: <https://mcx.gov.ru/press-service/news/35-rossiyskikh-proizvoditeley-organicheskoy-produktsii-poluchili-sertifikaty-sootvetstviya-s-nachala-goda> (дата обращения: 15.08.2021).

ганической продукции. Важную роль в этой системе, в частности, играет Союз органического земледелия¹⁸.

Экономическая компонента

Действующие и планируемые новые законодательные акты в сфере обращения с сельскохозяйственными отходами и в сфере регулирования производства и обращения органической продукции вместе с формированием институтов рынка органической продукции создают основу для преодоления барьеров на пути к полной переработке сельскохозяйственных отходов в высококачественные органические удобрения и обеспечения ими потребностей отрасли органического земледелия.

На текущий момент в России стоимость органической продукции достаточно высока, вызвано это замкнутостью товаропроизводителей в собственном производстве. В отрасли органической продукции почти нет кооперации между участниками рынка, такими как производители конечной продукции, ритейл, переработчики сельскохозяйственных отходов, научным сообществом и т.д. С целью снижения стоимости конечного продукта, а также преодоления ряда других негативных тенденций необходимо наращивать кооперацию и специализацию по направлениям деятельности. В дальнейшем это позволит заполнить ряд пустых ниш в данном секторе, как то производство биопрепаратов для защиты растений, производство органических удобрений и т.п. В результате кооперации и специализации производственные и логистические процессы, а также мероприятия по продвижению органических продуктов в масс-маркет перестанут замыкаться на производителях конечной продукции. Начнут активно внедряться новые технологии. Как следствие вышеобозначенной кооперации и специализации произойдет снижение цен на рынке органической продукции, что повысит ее доступность потребителю¹⁹.

Не будет преувеличением сказать о формировании двух новых взаимозависимых высокотехнологичных отраслей сельского хозяйства: отрасли производства органических удобрений на основе переработки сельскохозяйственных отходов и

отрасли производства органической продукции с применением высококачественных органических удобрений. Темп развития указанных отраслей будет зависеть от того, как быстро и эффективно будет складываться и расти рынок потребления органической продукции, а, соответственно, рынок потребления органических удобрений для производства органических продуктов и как будут действовать стимулы к полной переработке органических отходов в удобрения.

Одним из интенсивно развивающихся рынков в мире является рынок органических продуктов. За последние 20 лет он вырос более чем в пять раз (с 20 до 130 млрд евро). По данным аналитиков, данная тенденция роста продолжится в среднем по 10-12% в год и к концу 2025 года объем данного рынка достигнет 210-230 млрд долларов, что составит порядка 3-5% от общемирового объема рынка сельскохозяйственной продукции.

В 2019 году в мире было зарегистрировано 3,1 миллиона производителей органической продукции, а в органическом сельском хозяйстве находилось 72,3 млн гектаров. По сравнению с 2018 годом рост составил 1,6%, что приблизительно равняется 1,1 млн га.

Число потребителей, постоянно приобретающих органические продукты, во всем мире также выросло за последние 15 лет в пять раз, что составляет около 700 млн. чел.

Российский рынок органической продукции до кризисного 2014 года демонстрировал аналогичную мировому рынку тенденцию роста. В среднем рост составлял 10 %, но «обвал» рубля, а также ряд косвенных факторов привели к снижению темпов роста до 4% в 2015 – 2016 гг., хотя первоначально планировалось по темпу роста догнать европейские страны. В 2017-2019 годах ситуация с развитием органики восстановилась, и сейчас наблюдается устойчивый рост 8-10% в год²⁰.

По данным 2019 года товарное производство органических удобрений в России превысило один млн т. При этом, большая часть органических удобрений создается и потребляется самими фермерами и не поступает на рынок. 99 % органических удобрений в России реализуется на внутреннем

¹⁸ Союз органического земледелия. О Союзе. 2020. URL: <https://soz.bio/o-soyuze/> (дата обращения: 15.08.2021).

¹⁹ Национальный органический союз РФ. Органический рынок России в 2020 г. URL: <https://rosorganic.ru/files/Analiz%20organic%20RF%202020%20%D0%B3.pdf> (дата обращения: 15.08.2021).

²⁰ Союз органического земледелия. Опубликована свежая мировая статистика органического сельского хозяйства – снова рост. URL: <https://soz.bio/opublikovana-svezhaya-mirovaya-statistika> (дата обращения: 15.08.2021).

рынке и, лишь, 0,5 % поступает на экспорт. За последние пять лет цены на органические удобрения на внешнем рынке сильно варьировались в диапазоне от 503 до 1220 долларов за тонну. Такая изменчивость цен свидетельствует о том, что экспортные поставки носят разовый характер и ассортимент органических удобрений еще не сформирован²¹.

Пока не сложился в полной мере и не окреп новый рынок, будет полезным формирование и временная поддержка со стороны региональных и федеральных государственных институтов сквозных цепочек по всей товаропроводящей сети от магазинов органической продукции к производителям такой органической продукции и далее к производителям органических удобрений на основе многолетних договоров о кооперации/сотрудничестве в производстве, продаже и реализации продукции. Указанные договоры позволят снизить риски сбыта и влияния сезонности в потреблении органических удобрений, гармонизировать экономические интересы и создать основу для планирования развития и инвестирования в проекты создания производственных мощностей в каждом звене цепочки.

Крупные многопрофильные агрохолдинги будут, скорее всего, идти по пути формирования своих вертикально-интегрированных производств от выпуска органических удобрений из сельскохозяйственных отходов до реализации продукции органического производства с применением таких удобрений. Важно, чтобы такие вертикально-интегрированные структуры не стали единственными, не оставляя возможности для сотрудничества независимым производителям органических удобрений с независимыми производителями органической продукции и независимыми розничными магазинами.

Другая важная тема в экономической компоненте – методология определения сравнительной эффективности химических и органических удобрений, а также смешанных удобрений. Данная методология влияет на ценообразование и определяет выбор производителем сельхозпродукции вида удобрения. Существующие подходы делают упор на сравнение питательных веществ в составе удобрения, которое, как известно, формально не в пользу органического удобрения по сравнению с концентрированными химическими удобрениями. По нашему мнению, надо сравнивать

не по содержанию питательных веществ в удобрениях, а по усвоенному растением количеству таких питательных веществ. При этом необходимо в расчет включить не только поступающие с самим органическим удобрением питательные вещества, но и активизируемые благодаря микрофлоре органических удобрений находящиеся в инертной, труднодоступной для растений форме минеральные компоненты почвы. Помимо такого скорректированного сравнения по величине усваиваемых (потребленных) растениями питательных веществ, важно учесть дополнительные эффекты для растений и для плодородия почв от применения органических веществ и ущерб почве от химических удобрений. Так, органические удобрения, помимо активных микроорганизмов, повышающих их удобрительные свойства, также насыщены комплексом экзоферментов и прочих внеклеточных субстанций, активно стимулирующих рост растений и способствующих их здоровому развитию (снижению риска болезней и необходимости применения химических средств защиты).

Окончательное решение сельхозпроизводителя как покупателя удобрений будет зависеть от затрат на покупку удобрения и его применения в системе агротехники предприятия, фактически получаемых урожаев, качества производимой продукции, цен ее реализации (надбавки за органическое происхождение).

Пока, в сложившихся текущих условиях, существует лишь относительно узкий розничный и мелкооптовый рынок органических удобрений (приусадебные участки, индивидуальные хозяйства, теплицы, предприятия органического земледелия), ценовые условия которых обеспечивают приемлемую эффективность инвестиций в переработку органических отходов в удобрения. Но, для продукции переработки всего объема сельскохозяйственных отходов емкого рынка сбыта пока нет, и его создание является условием притока инвестиций в переработку отходов. На начальном этапе, требуются меры стимулирования спроса на органические удобрения, а по мере роста рынка конкурентоспособность таких удобрений сложится на уровне, не требующем арсенала первоначально примененных мер поддержки.

Государственная поддержка переработки сельскохозяйственных отходов в органические удобрения, прежде всего в части формирования крупного оптового рынка и снижение влияния на экономику

²¹ Рынок органических удобрений в России 2020: «Органика» превращается в товар. URL: <https://marketing.rbc.ru/articles/11294/> (дата обращения: 15.08.2021).

переработчиков отходов сезонности потребления удобрений, позволит создать условия для решения проблемы.

Отечественные органические удобрения имеют экспортный потенциал, реализация которого также способна снизить влияние сезонности в сбыте производимых удобрений²².

Направлениями роста экономической заинтересованности в переработки сельскохозяйственных отходов, и, как следствие, повышение ценовой доступности органических удобрений может стать: введение платы за переработку органических отходов (источник дохода переработчика для покрытия части затрат на переработку отходов); создание предприятий по агрономическому обслуживанию органического земледелия с Фондом поддержки производства органической сельскохозяйственной продукции, осуществляющим, прежде всего, закупки гарантированных объемов органических удобрений у переработчиков отходов на протяжении всего года. Данные закупки позволят без промежуточного хранения отходов вести их переработку, исключат экологический ущерб, снизят потребность переработчика в оборотном капитале; государственная поддержка аграрных предприятий, использующих органические удобрения для восстановления и поддержания плодородия почв, развития органического земледелия; использование механизмов «углеродных кредитов» в проектах сокращения поступлений в атмосферу метана и углекислого газа в результате гниения отходов в помето- и навозохранилищах, а также проектов предотвращения образования таких газов за счет незамедлительной переработки образующихся отходов без их накопления в хранилищах.

Технологическая составляющая

В мире и в России, в частности, разработано значительное количество технологий и оборудования для переработки органических отходов (Мишуров, 2018; Бондаренко & Качанова, 2015; Еськов & Рябов, 2013; Щеткин, 2000).

В РФ в основном применяются следующие технологии переработки навоза и помета²³:

- активное компостирование и обеззараживание сроком 1,0-1,5 мес. в буртах с использова-

нием специальной техники для аэрации путем периодического (через каждые 10-12 дней) ворошения бурта для насыщения компостной смеси кислородом воздуха с добавкой биологически активных препаратов;

– длительное (12 мес.) выдерживание в секционных помето- и навозохранилищах, а также кучах, буртах, биотраншеях с укрытием из слоя торфа или иного биологически не опасного материала (включая обеззараженный помет, навоз);

– биоферментация в установках камерного типа периодического (дискретного) действия с созданием в таких установках (биоферментерах, биореакторах) определенных условий для интенсивного развития аэробных бактерий и проведения процесса биологической трансформации исходной массы компостной смеси в органическое удобрение (компост) за 7-8 и менее суток;

– пассивное (естественное) компостирование и обеззараживание сроком до 2-3 месяцев предварительно подготовленной компостной смеси с соотношением углерода к азоту (C/N) не менее 15-20, влажностью до 75% и массой не менее 100 т в буртах шириной 2,5-6,0 м, высотой 2-3 м, размещенных на бетонированных или подготовленных для этих целей площадках в поле.

Также, применяются следующие, менее распространенные технологии:

- сжигание с получением тепловой энергии и использованием золы (минерального остатка) в качестве удобрения;
- термическая сушка помета с последующей грануляцией;
- анаэробное сбраживание в метантенках с получением биогаза для выработки электрической и производства тепловой энергии;
- активная биоферментация в течение трех-четырех суток в установках (ферментерах) барабанного типа непрерывного действия с получением микробного удобрения, обладающего более высокими удобрительными свойствами по сравнению с продуктами компостирования.

Если цель переработки сельскохозяйственных отходов только в ликвидации их экологического вреда, то вопрос требований к продуктам пере-

²² Там же.

²³ РД-АПК 1.10.15.02-17. (2017). Методические рекомендации по технологическому проектированию систем удаления и подготовки к использованию навоза и помета. М.: Росинформагротех.

работки сводится в основном к тому, чтобы такие продукты были экологически безопасны, а технологии утилизации дешевыми. Но, если стоит задача не только ликвидировать экологический вред, а прежде всего получить из отходов максимально полезные продукты с высокой добавленной стоимостью, то в этом случае требования становятся другими и на первый план выходят востребованность рынком и конкурентоспособность планируемых к производству продуктов.

В зависимости от применяемой технологии и сырья получается разный вид и качество органического удобрения (сушеный помет, компост, биокомпост) с разной удобрительной эффективностью²⁴.

В свою очередь, на основе указанных продуктов переработки в сочетании с органическими добавками (торф и др.) и природными минеральными добавками (мел, известь, глауконит и др.), а также в сочетании с биопрепаратами можно создать большой ассортимент товарных продуктов для разных культур, почв и условий применения. Также первичные продукты переработки сельскохозяйственных отходов используются при производстве почвогрунтов, почв с программируемыми характеристиками, смешанных удобрений.

В (Архипченко & Рулкенс, 2006) в качестве особого вида органического удобрения выделяются биоудобрения, именуемые микробными удобрениями, то есть совмещающие в своем составе органическое вещество и микробиологическую составляющую.

Биоудобрения отличаются от биокомпостов и компостов применяемый процесс ферментации на основе специфической микробной ассоциации, сочетание органического вещества с микроорганизмами, повышенная рост-стимулирующая активность, концентрация элементов питания и другие параметры, позволяющие получать комплекс эффектов как в направлении роста урожайности, так и повышения плодородия почв (Архипченко, 2015; Архипченко & Рулкенс, 2006).

В зависимости от требований производителей сельскохозяйственной продукции могут быть

спланированы ассортимент и объемы производства конечных товарных продуктов, а далее соответственно ассортимент и объем производства первичных продуктов переработки из сельскохозяйственных отходов.

Направления технологического решения проблемы переработки сельскохозяйственных отходов

Предприятия аграрного сектора, как было сказано выше, производят значительное количество сельскохозяйственных отходов, в первую очередь, навоза и помета. Так, на птицеводческое предприятие одна несушка в сутки производит в среднем 50–150 г помета. На каждые 8000 яиц или 100 кг в хранилище поступает 277 кг и 460 кг помета соответственно (Неверова, Зуева, Сарапулова, 2014). Для достижения переработки всего объема отходов необходимо использовать высокопроизводительные перерабатывающие комплексы. В противном случае возникает проблема промежуточного хранения навоза, и, как следствие, потеря полезных компонентов исходного сырья, также наносится существенный вред окружающей среде.

Для переработки такого значительного количества отходов возможно использовать технологию активного компостирования в буртах или конструкцию ВНИИМЗ²⁵, с применением камерных компостеров²⁶. Но данные технологии и конструкции имеют ряд ограничений по использованию, например, сезонность и погодные особенности.

Биоферментер для производства органических удобрений высокого качества

К недостаткам барабанных биоферментеров относится их малая производительность, что не позволяет получить высококачественного органического удобрения в значительных объемах.

Наиболее производительные биоферментеры барабанного типа конструкции ИАЭП и ВНИИ сельскохозяйственной микробиологии (Брюханов, 2017) обладают возможностью переработки не более 9 тонн сырья в сутки²⁷. В мировой практике производительность биоферментеров также не выходит за пределы 10 тонн в сутки. Исходя из 330

²⁴ ГОСТ 34103-2017. (2020). Удобрения органические. Термины и определения. М.: Стандартинформ.

²⁵ Технология ускоренной переработки навоза и помета в высокоэффективные экологически чистые удобрения (КМН). URL: <http://vniimz.ru/production/technology-and-development/#kmn> (дата обращения: 19.08.2021).

²⁶ ИТС 42-2017. (2017). Интенсивное разведение сельскохозяйственной птицы. М.: Бюро НДТ.

²⁷ Микляев, Ю. М., & Рассохин, Г. Л. (2017). Патент RU2632690C1. Способ вихревого быстрого пиролиза углеродсодержащих материалов и установка для его осуществления. URL: <https://patents.google.com/patent/RU2632690C1/ru> (дата обращения: 19.08.2021).

рабочих дней в году, только 3,5 тысячи тонн сельскохозяйственных отходов способен переработать один биоферментер. Если учитывать, что одно птицеводческое предприятие имеет выход около 50 тыс. т отходов (помета) в год, то потребуется около пятнадцати ферментеров для переработки годового объема помета типового предприятия, что приведет к серьезным капиталовложениям, как в ферментеры, так и в необходимое для их работы технологическое оборудование, а также в площади под их размещение.

К принципам работы высокопроизводительного ферментера относятся следующие: непрерывность работы; скорость переработки заложенного объема сырья – 2-3 суток; способность переработать за один цикл работы не менее 100 тонн сырья.

Современные барабанные ферментеры не отвечают вышеобозначенным требованиям по объему перерабатываемого сырья. Способностью переработать за один цикл работы не менее 100 тонн сырья обладают камерные компостеры, но они не являются комплексами непрерывного действия, продолжительность процесса переработки занимает до восьми суток.

Отличием камерного компостера и барабанного ферментера также является производимый конечный продукт, в первом случае получается компост, а во втором – микробное удобрение (биологически активное органическое удобрение).

Необходимо преобразовать технологический процесс в камерных компостерах из периодического в непрерывный, а по всему рабочему объему создать и обеспечить неизменность заданных условий для максимальной производительности сообществ бактерий по превращению органических сельскохозяйственных отходов не в компост, а в микробное удобрение. Во всем объеме перерабатываемого сырья должен быть обеспечен непрерывный поток воздуха, содержащего кислород, с расходом $0,6 \text{ м}^3/\text{кг}$ перерабатываемой массы, для повышения эффективности процесса температура перерабатываемого сырья при загрузке в реактор должна быть не ниже 10°C , а влажность не более 60–65%, pH 6,0 – 8,0, отношение углерода к азоту в диапазоне 20:1 – 30:1²⁸. Приведенные параметры не являются абсолютными, их значение должно быть откорректировано на основе микро-

биологических экспериментов с учетом особенностей перерабатываемого материала, а также с учетом требований к конечному продукту.

Для более точного подбора параметров необходимо применять метод моделирования с использованием современного программного обеспечения, например, вычислительного комплекса FlowVision²⁹. Использование такого рода вычислительных комплексов позволит смоделировать процесс распределения в перерабатываемых отходах, с учетом неоднородности по проницаемости данного материала, кислорода, влажности, изменения температуры, с учетом влияния на данные условия дополнительных источников тепла и изменения газовой составляющей, возникающих в результате функционирования бактерий.

Использование метода моделирования условий переработки сельскохозяйственных отходов, дополненное данными микробиологических экспериментов, позволит предложить новую конструкцию биореактора, а также решит вопрос равномерного воздухообмена по всему объему перерабатываемого сырья и создания и поддержания необходимых условий для обеспечения полноценной «работы» бактерий, уменьшится проблема наличия застойных зон с «неработающими» или/и нежелательными бактериями, и, как следствие, проблема неполного обеззараживания конечного продукта будет решена. Если удастся обеспечить соответствующий воздухообмен, температуру и влажность во всей толще перерабатываемого сырья, то в данном случае колонии бактерий смогут в более сжатые сроки, а именно, 2-3 суток создать биологически активное удобрение высокого качества.

Для того, чтобы из классического камерного компостера сделать биоферментер непрерывного действия с послойной ферментацией необходимо:

- усовершенствовать подачу воздуха в толщу перерабатываемых отходов, ввести в конструкцию дополнительные воздухопроводы, для использования в том случае, когда основные воздухопроводы не способны равномерно распределить воздух, что приводит к возникновению «застойных» участков;
- применять с учетом микробиологических экспериментов и моделирования специально по-

²⁸ РД-АПК 1.10.15.02-17. (2017). Методические рекомендации по технологическому проектированию систем удаления и подготовки к использованию навоза и помета. М.: Росинформагротех.

²⁹ Инжиниринговая компания. Применения вычислительного комплекса Flowvision. URL: https://tesis.com.ru/own_design/flowvision/ (дата обращения: 19.08.2021).

добранные семейства бактерий (Архипченко, 2015);

- внутри камерного компостера разместить металлическую «вставку» в форме эллипса, с уменьшающейся к низу площадью сечения, для обеспечения возможной выгрузки готового материала через данную «вставку» без образования застойных зон;
- обеспечить наличие шнековых устройств под «вставкой», что позволит осуществлять выгрузку готового продукта;
- обеспечить отвод аммиака для получения аммиачной воды;
- процесс загрузки материала должен вестись сверху, а перерабатываемое сырье должно быть предварительно подготовлено, т.е. обеспечена необходимая крупность материала, его температура, влажность, состав. Для этих целей можно применять турбовихревую сушильно-измельчительную машину конструкции Г.Л. Рассохина³⁰.

Оптимальным конструктивным решением, основанным на обозначенных выше особенностях, может служить вертикальный цилиндрический биореактор³¹.

Также альтернативным вариантом биореактора выступают биотраншеи, при этом необходимо обеспечить укрытие траншей, и предусмотреть в структуре траншеи системы отбора газовой фракции, подавать воздух из основания и боковых стенок траншеи, использовать шнековые устройства для выгрузки готового материала, изменить конструкцию боковых стенок траншеи таким образом, чтобы перерабатываемое сырье могло сползать под собственной тяжестью.

В любом случае, будь это биоферментер на основе камерного компостера или биотраншеи, процесс переработки является послойным, все сырье загружается сверху и по мере биотрансформации опускается вниз в течение 2-3 суток, в результате готовый продукт в виде биоудобрения сразу после переработки выгружается снизу ферментера.

Применение турбовихровой сушильно-измельчительной машины для получения высококонцентрированного органического удобрения

Еще одним направлением решения проблемы переработки сельскохозяйственных отходов является использование технологии турбовихревого измельчения с последующей сушкой, что позволило бы получать органическое высококонцентрированное удобрение.

Конструкция данного аппарата состоит из вихревой сушильно-измельчительной установки с высоким уровнем автоматизации. Образцом такого аппарата может выступать установка, предложенная Г.Л. Рассохиним.

Технологический процесс состоит из следующих этапов:

- размещение перерабатываемого сырья в приемном бункере турбовихревого измельчителя (ТИ);
- удаление из сырья излишней влаги и измельчение его до порошкообразного состояния с влажностью не более 10 %;
- разделение, охлаждение и концентрирование продукта переработки (в порошкообразном состоянии) в бункере ТИ;
- упаковывание готового продукта (конечный продукт находится в порошкообразном состоянии, но при необходимости, может быть преобразован в гранулы);
- складирование готового органического удобрения.

Достоинством данной перерабатывающей установки является подавление способности семян сорных растений к прорастанию. Кроме того, происходит полное обеззараживание конечного продукта с точки зрения микробиологии и гельминтологии. Весь аммиак в процессе переработки сырья улавливается и конденсируется, в результате чего появляется дополнительный продукт – аммиачная вода, что позволяет говорить о данной технологии как о безотходной.

Получаемое органическое удобрение является высококачественным продуктом, т.к. в нем отсутствует неприятный запах и патогенные микроорганизмы, а содержащиеся семена сорных растений не способны к прорастанию, удобрение является устойчивым, как в порошкообразном, так и в гранулированном виде, не требует особых

³⁰ Микляев, Ю. М., & Рассохин, Г. Л. (2017). Патент RU2632690C1. Способ вихревого быстрого пиролиза углеродсодержащих материалов и установка для его осуществления. URL: <https://patents.google.com/patent/RU2632690C1/ru> (дата обращения: 19.08.2021).

³¹ Хмыров, В. Д., Миронов, В. В., Никитин, П. С., & Колдин, М. С. Патент RU2310631. (2007). Аэрационный биореактор. URL: <http://www.findpatent.ru/patent/231/2310631.html> (дата обращения: 19.08.2021).

режимов хранения. По своим функционально-технологическим свойствам данный продукт также выделяется, он легко растворяется в воде и может быть внесен в почву, как в сухом виде, так и в жидкой форме, например, через устройства автономного полива растений.

Удобрительные свойства продукта можно повысить путем внесения в данное органическое удобрение определенных видов микроорганизмов.

Выводы

В прошедшем столетии произошли серьезные изменения в восприятии ценности сельскохозяйственных отходов. Навоз и помет перестают рассматриваться как ценное удобрение природного происхождения, а начинают восприниматься как проблемный избыточный отход. Только в России ежегодно производят сотни миллионов тонн органических отходов, в мире количество сельскохозяйственных отходов достигает миллиарды тонн.

Составляющими решения проблемы должны быть одновременно правовая компонента, экономическая и технологическая.

Решить вопрос можно только путем создания эффективно функционирующей цепочки: формирование отходов – переработка отходов в органическое удобрение – выращивание органической продукции – реализации органической продукции конечным потребителям.

Государственная поддержка переработки сельскохозяйственных отходов в органическое удобрения, прежде всего в части формирования крупного оптового рынка и снижения влияния на экономику переработчиков отходов сезонности потребления удобрений, позволит создать условия для решения проблемы.

Органические отходы должны возвращаться в максимально полном объеме в систему растениеводства в виде органических удобрений для сохранения естественного природного цикла движения биомассы для поддержания плодородия почв.

Возможно для получения органических удобрений высокого качества использовать биоферментеры на основе камерного компостера или биотраншеи непрерывного действия с послойной ферментацией или технологию турбовихревого измельчения с последующей сушкой.

Литература

- Архипченко, И. А. (2005). *Научные основы и практические рекомендации по использованию биоудобрений из отходов животноводства для биологического земледелия*. СПб.: ГНУ ВНИИ сельскохозяйственной микробиологии.
- Архипченко, И. А. (2015). Микробиологические особенности переработки отходов животноводства в биоудобрения. В *Экологические проблемы использования органических удобрений в земледелии: Сборник научных трудов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием* (с. 123-132). Владимир: ФГБНУ ВНИИОУ.
- Архипченко, И. А., & Рулкенс, В. (2006). Микробные удобрения для земледелия и улучшения окружающей среды. *Экология и промышленность России*, 3, 4-7.
- Архипченко, И., Бакина, Л., Брюханов, А., Орлова, О., & Тарасов, С. (2020). Трансформации микробного сообщества и органического субстрата при аэробной ферментации помета. *Экология и промышленность России*, 24(8), 22-27. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2020-8-22-27>
- Бондаренко, А. М., & Качанова, Л. С. (2015). Современные технологии переработки навоза животноводческих предприятий в высококачественные органические удобрения. *Техника и технологии в животноводстве*, 4, 135-141.
- Брюханов, А. Ю. (2017). *Методы проектирования и критерии оценки технологий утилизации навоза, помета, обеспечивающие экологическую безопасность* [Докторская диссертация, ФГБОУ ВО Санкт-петербургский государственный аграрный университет]. СПб., Россия.
- Еськов, А. И., & Рябков, В. В. (2013). Техническое обеспечение использования органических удобрений. *Агрохимический вестник*, 4, 13-15.
- Коршунов, С. А., Любовецкая, А. А., Асатурова, А. М., Исмаилов, В. Я., & Коноваленко, Л. Ю. (2019). *Органическое сельское хозяйство: Инновационные технологии, опыт, перспективы: Научно-аналитический обзор*. М.: Росинформагротех.
- Мишунов, Н. П. (2018). Рекомендации по технологическому проектированию систем удаления и подготовки к использованию навоза и помета. *Техника и технологии в животноводстве*, 4, 44-56.
- Могилевцев, В. И., Брюханов, А. Ю., Максимов, Д. А., Васильев, Э. В., Субботин, И. А., Чернин, С. Я., Парубец, Ю. С., & Гарзанов, А. Л. (2012). *Утилизация навоза/помета на животноводческих фермах для обеспечения экологической безопасности территории, наземных и подзем-*

- ных водных объектов в Ленинградской области. СПб.
- Неверова, О. П., Зуева, Г. В., & Сарапулова, Т. В. (2014). Экосистемный подход к утилизации помета. *Аграрный вестник Урала*, 8, 38-41.
- Щеткин, Б. Н. (2000). *Птичий помет и технологии его переработки в высокоэффективные удобрения*. СПб.: СПбГАУ.
- Bot, A., & Benites, J. (2005). *The importance of soil organic matter. Key to drought-resistant soil and sustained food and production*. Rome: Food and Agriculture Organization (FAO) of the United Nations.
- Kaza, S., Yao, L. C., Bhada-Tata, P., & van Woerden, F. (2018). *What a waste 2.0: A global snapshot of solid waste management to 2050*. Washington, DC: Urban Development.
- Nagendran, R. (2011). An agricultural waste and pollution. In *Waste: A handbook for management* (pp. 341-355). Elsevier, Amsterdam. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-381475-3.10024-5>
- Seadi, T., & Holm-Nielsen, J. B. (2004). Agricultural wastes. In I. Twardowska (Ed.). *Solid Waste: Assessment, monitoring and remediation* (pp. 207-215). Oxford, UK: Elsevier.

Agricultural Waste Processing: Organic Fertilizer Market and Organic Food Production

Aleksander M. Agapkin

*Plekhanov Russian University of Economics
36, Stremyanny per., Moscow, 117997, Russian Federation
E-mail: alex_agapkin@mail.ru*

Irina A. Makhotina

*Plekhanov Russian University of Economics
36, Stremyanny per., Moscow, 117997, Russian Federation
E-mail: irina_mahotina@mail.ru*

Annually, the total amount of agricultural waste in Russia reaches 630–650 million tons. On the one hand, this creates serious environmental and sanitary problems, since almost half of this waste is manure and dung. On the other hand, these wastes represent an irreplaceable source of raw materials for the production of organic fertilizers in volumes, which make it possible to speak of the formation of a new branch of organic fertilizers production on this resource base. The scientific novelty of the approach outlined in the article is the linking of the proposed ways of organizing large-scale processing of agricultural waste and the formation of an organic fertilizer market with the development of an associated rapidly growing industry of organic agricultural production and the market for organic agricultural products. The problem is considered within the framework of an interdisciplinary approach in the relationship of regulatory, environmental, climatic, economic and technological components. The information on the legislative support of the sphere of organic farming and the production of organic fertilizers is presented. Specific measures are proposed to stimulate the interrelated development of the industry of processing waste into organic fertilizers and the industry of producing organic products. Since 2010, the Russian organic market has grown by an average of 10% per year. Moreover, in the period 2015–2016 it decreased to 4%, but in 2017–2019 the situation with the development of organic matter recovered, and now there is a steady growth of 8–10% per year. Particular attention is paid to priority technologies for processing waste into organic fertilizers. The plants based on turbo-vortex grinding and drying machines for the production of highly concentrated dry finely dispersed organic fertilizers and plants based on aeration reactors for use in large-scale production are considered.

Keywords: organic production, organic fertilizers, agricultural waste, manure, bioreactor, environment, ecology

References

- Arkhipchenko, I. A. (2005). *Nauchnye osnovy i prakticheskie rekomendatsii po ispol'zovaniyu bioudobrenii iz otkhodov zhivotnovodstva dlya biologicheskogo zemledeliya* [Scientific foundations and practical recommendations for the use of biofertilizers from animal waste for biological farming]. S-Petersburg: GNU VNII sel'skokhozyaistvennoi mikrobiologii.
- Arkhipchenko, I. A. (2015). Mikrobiologicheskie osobennosti pererabotki otkhodov zhivotnovodstva v bioudobreniya [Microbiological features of processing animal waste into biofertilizers]. In *Ekologicheskie problemy ispol'zovaniya organicheskikh udobrenii v zemledelii: Sbornik nauchnykh trudov Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem* [Environmental problems of the use of organic fertilizers in agriculture: Collection of scientific papers of the All-Russian scientific-practical conference with international participation] (pp. 123–132). Vladimir: FGBNU VNIIOU.
- Arkhipchenko, I. A., & Rulkens, V. (2006). Mikrobyne udobreniya dlya zemledeliya i uluchsheniya okruzhayushchei sredy [Microbial fertilizers for agriculture and environmental improvement]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii* [Ecology and Industry of Russia], 3, 4–7.
- Arkhipchenko, I., Bakina, L., Bryukhanov, A., Orlova, O., & Tarasov, S. (2020). Transformatsii mikrobnogo soobshchestva i organicheskogo substrata pri aerobnoi fermentatsii pometa [Transformations of the microbial community and organic substrate during aerobic fermentation of manure]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii* [Ecology and Industry of Russia], 24(8), 22–27. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2020-8-22-27>
- Bondarenko, A. M., & Kachanova, L. S. (2015). Sovremennye tekhnologii pererabotki navoza zhi-

- votnovodcheskikh predpriyatii v vysokokachestvennyye organicheskie udobreniya [Modern technologies for processing manure from livestock enterprises into high-quality organic fertilizers]. *Tekhnika i tekhnologii v zhivotnovodstve* [Equipment and Technologies in Animal Husbandry], 4, 135-141.
- Bryukhanov, A. Yu. (2017). *Metody proektirovaniya i kriterii otsenki tekhnologii utilizatsii navoza, pometa, obespechivayushchie ekologicheskuyu bezopasnost'* [Design methods and criteria for assessing technologies for the disposal of manure, droppings, ensuring environmental safety] [Doctoral Dissertation, FGBOU VO Sankt-peterburgskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet]. S-Petersburg, Russia.
- Es'kov, A. I., & Ryabkov, V. V. (2013). Tekhnicheskoe obespechenie ispol'zovaniya organicheskikh udobrenii [Technical support for the use of organic fertilizers]. *Agrokhimicheskii vestnik* [Agrochemical Bulletin], 4, 13-15.
- Korshunov, S. A., Lyubovetskaya, A. A., Asaturova, A. M., Ismailov, V. Ya., & Konovalenko, L. Yu. (2019). *Organicheskoe sel'skoe khozyaistvo: Innovatsionnye tekhnologii, opyt, perspektivy: Nauchno-analiticheskii obzor* [Organic agriculture: innovative technologies, experience, prospects: S and analytical review]. Moscow: Rosinformagrotekh.
- Mishurov, N. P. (2018). Rekomendatsii po tekhnologicheskomu proektirovaniyu sistem udaleniya i podgotovki k ispol'zovaniyu navoza i pometa [Recommendations for the technological design of systems for the removal and preparation for use of manure and dung]. *Tekhnika i tekhnologii v zhivotnovodstve* [Equipment and Technologies in Animal Husbandry], 4, 44-56.
- Mogilevtsev, V. I., Bryukhanov, A. Yu., Maksimov, D. A., Vasil'ev, E. V., Subbotin, I. A., Chernin, S. Ya., Parubets, Yu. S., & Garzanov, A. L. (2012). *Utilizatsiya navoza/pometana zhivotnovodcheskikh fermakh dlya obespecheniya ekologicheskoi bezopasnosti territorii, nazemnykh i podzemnykh vodnykh ob'ektov v Leningradskoi oblasti* [Utilization of manure / dung from livestock farms to ensure the ecological safety of the territory, ground and ground water bodies in the Leningrad region]. S-Petersburg.
- Neverova, O. P., Zueva, G. V., & Sarapulova, T. V. (2014). Ekosistemnyi podkhod k utilizatsii pometa [Ecosystem approach to litter disposal]. *Agrarnyi vestnik Urala* [Agrarian Bulletin of the Urals], 8, 38-41.
- Shchetkin, B. N. (2000). *Ptichii pomet i tekhnologii ego pererabotki v vysokoeffektivnye udobreniya* [Poultry manure and technologies for its processing into highly effective fertilizers]. S-Petersburg: SPbGAU.
- Bot, A., & Benites, J. (2005). *The importance of soil organic matter. Key to drought-resistant soil and sustained food and production*. Rome: Food and Agriculture Organization (FAO) of the United Nations.
- Kaza, S., Yao, L. C., Bhada-Tata, P., & van Woerden, F. (2018). *What a waste 2.0: A global snapshot of solid waste management to 2050*. Washington, DC: Urban Development.
- Nagendran, R. (2011). An agricultural waste and pollution. In *Waste: A handbook for management* (pp. 341-355). Elsevier, Amsterdam. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-381475-3.10024-5>
- Seadi, T., & Holm-Nielsen, J. B. (2004). Agricultural wastes. In I. Twardowska (Ed.). *Solid Waste: Assessment, monitoring and remediation* (pp. 207-215). Oxford, UK: Elsevier.