

Актуальные проблемы развития пищевых и биотехнологий

Topical issues of development of food and biological technologies

Научная статья
УДК 636.087.25:628.47
DOI: 10.14529/food230301

СИСТЕМАТИЧЕСКИЙ ОБЗОР РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ, ПРОБЛЕМ ЭКОЛОГИЗАЦИИ СОКРАЩЕНИЯ ОБРАЗОВАНИЯ ПИЩЕВЫХ ОТХОДОВ

О.А. Суворов¹, suvorovOA@ya.ru
А.Л. Кузнецов², a.l.kuznetsov@bk.ru
Н.Э. Воротынцев¹, vorotyntsev93@gmail.com
Е.Ю. Князев¹, knyazev@intellecthouse.ru
М.Б. Мойсеяк¹, mojjseyakMB@mgpp.ru

¹ Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), Москва, Россия

² АО «345 МЗ», Московская обл., Балашиха, Россия

Аннотация. В настоящее время в мировой практике разработаны перспективные технологические решения по обращению с пищевыми отходами, предотвращению их образования и экологизации производств. Однако наиболее распространенными в большинстве стран мира, включая Россию, по-прежнему остаются сжигание и захоронение на полигонах. Использование технологичных и экологичных методов переработки ограничено и не находит широкого применения по тем или иным причинам. Целью данного обзора является анализ существующих технологических решений по ресурсосбережению и сокращению образования пищевых отходов, а также рассмотрение проблем экологизации пищевых систем. В представленном систематическом обзоре использована 21 публикация, отобранная из баз данных Scopus, Google Scholar, Science Direct и РИНЦ в период 2011–2022 гг. Рассмотрены технологии переработки отходов и вторичного использования пищевых отходов, в том числе: отдельный сбор и сортировка; повторное использование в качестве вторичного сырья; производство непищевых продуктов с добавленной стоимостью; термическая утилизация; захоронение. Проанализировав наиболее распространенные технологии переработки, историю и пути их внедрения, были сформированы перспективные направления для дальнейшего исследования. Анализ технической литературы и публикационной активности по основным базам данных свидетельствует об актуальности разработки ресурсосберегающих технологий, поиска решения проблем экологизации и сокращения образования пищевых отходов. Показана критическая важность системы отдельного сбора бытовых и продовольственных отходов для реализации экологичных и экономически целесообразных технологических решений по их переработке. Результаты обзора позволят выявить новые направления для разработки ресурсосберегающих технологий с применением опыта международных и российских научных групп.

Ключевые слова: ресурсосбережение, пищевые отходы, продукты с истекшим сроком годности, технологии утилизации и переработки, отдельный сбор, экологизация, пищевые системы, биологическая безопасность, хранение, сырье

Благодарности. Исследования выполнены в рамках государственного контракта № 14.2022.244.02.020.052.

Для цитирования: Систематический обзор ресурсосберегающих технологий, проблем экологизации сокращения образования пищевых отходов / О.А. Суворов, А.Л. Кузнецов, Н.Э. Воротынцев и др. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». 2023. Т. 11, № 3. С. 5–14. DOI: 10.14529/food230301

© Суворов О.А., Кузнецов А.Л., Воротынцев Н.Э., Князев Е.Ю., Мойсеяк М.Б., 2023

Original article
DOI: 10.14529/food230301

SYSTEMATIC REVIEW OF RESOURCE-SAVING TECHNOLOGIES, PROBLEMS OF GREENING THE REDUCTION OF FOOD WASTE

O.A. Suvorov¹, suvorovOA@ya.ru
A.L. Kuznetsov^{2✉}, a.l.kuznetsov@bk.ru
N.E. Vorotyntsev¹, vorotyntsev93@gmail.com
E.Yu. Knyazev¹, knyazev@intelecthouse.ru
M.B. Moiseyak¹, mojjseyakMB@mgupp.ru

¹ Russian Biotechnological University (ROSBIOTECH), Moscow, Russia

² JSC "345 MZ", Moscow Region, Balashikha, Russia

Abstract. Currently, promising technological solutions for the management of food waste, prevention of their formation and greening of production have been developed in world practice. However, incineration and landfill burial are still the most common in most countries of the world, including Russia. The use of technological and eco-friendly processing methods is limited, and is not widely used for one reason or another. The purpose of this review is to analyze existing technological solutions for resource conservation and reduction of food waste generation, as well as to consider the problems of greening food systems. The presented systematic review uses 21 publications selected from the Scopus, Google Scholar, Science Direct, and RSCI databases in the period 2011–2022. The technologies of waste processing and recycling of food waste, including: separate collection and sorting; reuse as secondary raw materials; production of non-food products with added value; thermal disposal; burial. Having analyzed the most common processing technologies, the history and ways of their implementation, promising directions for further research were formed. The analysis of technical literature and publication activity on the main databases indicates the relevance of the development of resource-saving technologies, the search for solutions to the problems of greening and reducing the formation of food waste. The critical importance of the system of separate collection of household and food waste for the implementation of environmentally friendly and economically feasible technological solutions for their processing is shown. The results of the review will reveal new directions for the development of resource-saving technologies using the experience of international and Russian scientific groups.

Keywords: resource saving, food waste, expired products, recycling and processing technologies, separate collection, greening, food systems, biological safety, storage, raw materials

Acknowledgments. The research was performed under the state contract No. 14.2022.244.02.020.052.

For citation: Suvorov O.A., Kuznetsov A.L., Vorotyntsev N.E., Knyazev E.Yu., Moiseyak M.B. Systematic review of resource-saving technologies, problems of greening the reduction of food waste. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Food and Biotechnology*, 2023, vol. 11, no. 3, pp. 5–14. (In Russ.) DOI: 10.14529/food230301

Введение

Ежегодно растущее потребление пищевых продуктов приводит к увеличению антропогенной нагрузки на окружающую среду. За счёт образования большого количества отходов вопрос необходимости совершенствования ресурсосберегающих технологий становится одним из приоритетных направлений. По данным статистики, не менее трети произведенного продовольствия в результате обращения становятся пищевыми отходами. Превращение пищевой продукции в отходы свя-

зано не только с проблемами хранения, но и этапами сбора урожая, производства и транспортировки [13].

Стоит отметить региональные различия в процессах образования отходов. В более развитых странах по сравнению с развивающимися большая доля продуктов становится отходами в процессе хранения и потребления из-за насыщенности рынка продовольствия, доступности и большого выбора [20]. По данным ООН за 2019 г., не менее 17 % доступных потребителям пищевых продуктов были утили-

лизированы на последнем этапе реализации, так и не попав к потребителю [19].

Согласно действующему федеральному классификационному каталогу, пищевые отходы относятся к 4–5 классу опасности. По данным Государственного доклада Министерства природных ресурсов и экологии в 2021 году более 90 % твёрдых коммунальных отходов были вывезены и размещены на полигонах, при этом объем отходов за последние 10 лет вырос в 3 раза, что угрожает территориям, прилегающим к существующим полигонам [2].

Для решения проблем накопления отходов с 2018 года реализуется Федеральная программа (ФП) «Комплексная система обращения с ТКО», целью которой является создание системы переработки и утилизации отходов. Согласно отчетам уже удалось снизить долю направленных на захоронение твердых коммунальных отходов с 97 % в 2018 г. до 92,4 % в 2022 г., по планам Федеральной программы планируется сокращение вывозимых для захоронения отходов до 49,8 % к 2030 году [7].

На сегодняшний день пищевые отходы не выделены в отдельную категорию ТКО и встречаются в 4 блоках ФККО как более 100 разрозненных наименований. С этим связаны некоторые сложности в их вторичном использовании и переработке. К пищевым отходам, согласно требованиям СанПиН 2.1.3684-21, предъявляются особые требования хранения, не допускающие хранение более 24 часов вне холодильного оборудования и более 1 недели на территории их образования. Отходы должны перерабатываться в полном объеме. Не существует системы учёта потерь на различных этапах от производства до потребителя и полноценной статистики в отечественной практике. При этом существующие способы и технологии переработки пищевых отходов, по сути, являются отдельным направлением переработки ТКО с объемом не менее 25 % от всех образующихся отходов. Международный опыт показал возможность использования перспективных технологий для обращения с пищевыми отходами, однако из-за технологической сложности и затратности наиболее широко распространённым методом остается захоронение.

Целью данного обзора является анализ существующих технологических решений по ресурсосбережению и сокращению образова-

ния пищевых отходов, а также рассмотрение проблем экологизации пищевых систем.

В связи с этим необходимо найти ответы на следующие исследовательские вопросы:

Какие существуют действующие ограничения по обращению с пищевыми отходами?

Какие существуют действующие и перспективные технологии обращения с пищевыми отходами?

Объекты и методы исследований

Для проведения исследования и анализа существующих технологических решений по ресурсосбережению был осуществлен поиск по ключевым словам в общедоступных базах данных: Scopus, Science Direct, Google Scholar и РИНЦ. В результате поиска было найдено 527 статей, находящихся в открытом доступе, за временной период с 2011 по 2023 год. Ввиду большого количества публикаций и актуальности темы приоритет отдавался публикациям за последние 5 лет. Далее анализировались аннотации выбранных публикаций и соответствие дополнительным ключевым словам. Кроме того, для получения актуальной информации и подтверждения реального использования технологий анализировались международные новостные ресурсы и ссылки на текущие исследования. В качестве источников информации также были использованы вновь вводимые нормативные документы, обзоры и отчеты научных центров, правительственные программы развития и опубликованные отчёты об их выполнении.

В итоге была отобрана 21 публикация, наиболее соответствующая критериям, проанализирована и отсортирована с учётом тематики и ссылок.

Результаты и их обсуждение

Сравнительный анализ количества публикаций за последние 12 лет по запросам «пищевые отходы» и «food waste» в различных базах данных показывает рост интереса к проблеме пищевых отходов. На рис. 1 показано количество публикаций, зарегистрированное количество научных статей, опубликованных в базах данных Google Scholar и РИНЦ за 2011–2022 гг., превышают суммарное количество статей за 8 предыдущих лет. В российских базах данных, на примере РИНЦ, количество статей в год за 12 лет увеличилось в 3 раза. При этом снижение количества публикаций за последние 3 года по теме в базе данных Google Scholar может быть связано с распространением разработок отдельных ви-

дов переработки или изменение терминологии, пищевые отходы → вторичное сырье.

Технологические решения по экологизации и сокращению образования пищевых отходов можно разделить на несколько направлений: раздельный сбор и сортировка; повторное использование в качестве вторичного сырья; производство непищевых продуктов с добавленной стоимостью; термическая утилизация; захоронение. Изменения в законодательстве многих стран свидетельствует о необходимости сокращения неперерабатываемых отходов, в том числе пищевых [6].

В рамках проекта KS1670 «Финско-российское государственно-частное партнер-

ство стимулирует новый зеленый бизнес» Ю.Г. Гладштейн с соавторами описали финский и российский опыт обращения с отходами, а также рассмотрели качественные характеристики и состав отходов, который представлен на рис. 2 [1].

Проблема образования и утилизации отходов контролируется и законодательно регулируется на государственном уровне. В 2025 году в РФ в полном объеме будет действовать концепция расширенной ответственности производителей (РОП), запущенная реформами 2019 года. В соответствии с этим документом производители будут обязаны полностью утилизировать выработываемую ими упаков-

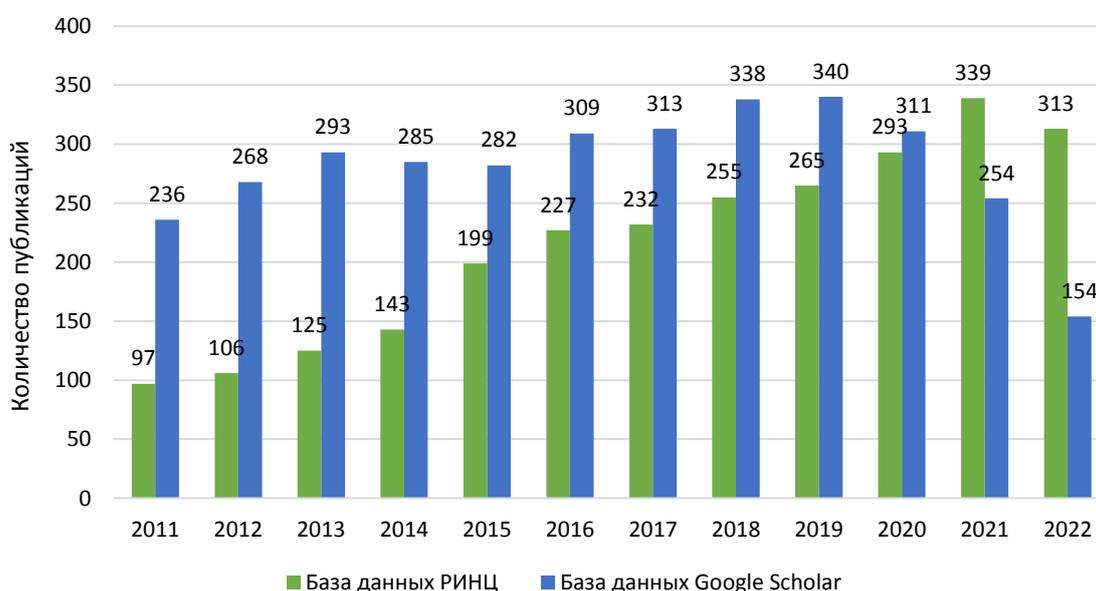


Рис. 1. График роста количества публикаций по источникам

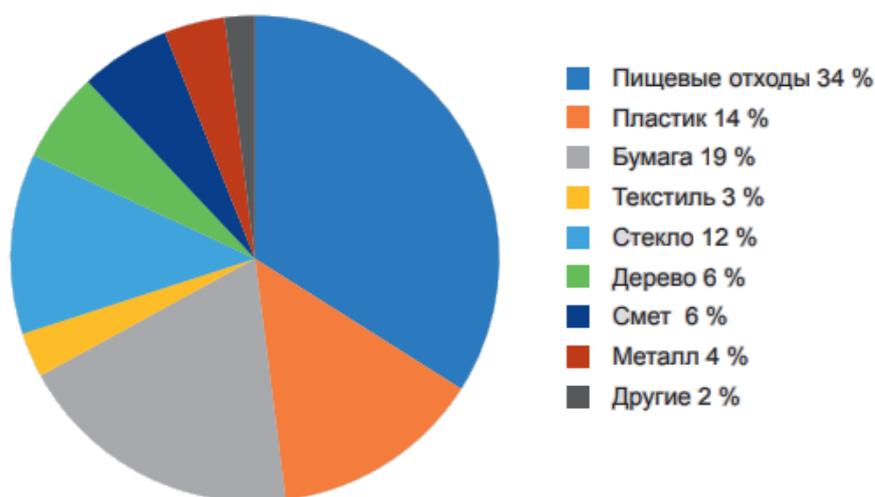


Рис. 2. Состав смешанных отходов в РФ 2020 год [1]

ку. Следует отметить, что данная мера будет также распространяться на неликвидную пищевую продукцию. В РФ законодательством предусмотрено раздельное хранение и изъятие продукции с истекшим сроком годности, при этом дальнейшее использование в качестве продуктов питания и распространение запрещено законом. В странах Европейского союза предусмотрена процедура передачи продукции с истекающим сроком годности приютам для животных, фермерским хозяйствам и по программам помощи нуждающимся.

Раздельный сбор и сортировка

Системообразующим компонентом решения проблемы сокращения коммунальных отходов, в том числе пищевых, является сортировка. Пищевые отходы обычно состоят из очистков, оставшихся в момент приготовления еды, недоеденных блюд и купленных сверх меры продуктовых запасов, а также просроченных либо подпорченных продуктов. Помимо съедобной составляющей, большую часть таких отходов составляет упаковка – бумага, стекло, различные пластики. Согласно данным исследований, спрос на эти материалы в виде вторичного источника сырья в России есть, но доля их извлечения колеблется от 12 до 28 % [7]. Помимо общеизвестных практик изготовления тары из стеклобоя, картона из бумажных отходов и производства паллет или гранул из пластика, интересными примерами использования подобного сырья выглядят технологии изготовления кирпичей из стекла и макулатуры [7]. Их преимуществами являются огнестойкость и водостойкость, на 60 % меньшая масса, на 70 % меньшая стоимость в сравнении с керамическими кирпичами и высокие декоративные свойства. В США и Канаде тестируется строительство дорог с применением отходов стекла и пластика.

Вопрос сортировки в России решается на мусороперерабатывающих заводах, где в ручном либо автоматическом режиме происходит разделение фракций для дальнейшего использования и переработки, либо для последующего захоронения. К сортировке и раздельному сбору бытовых отходов (РСБО) приступили лишь в 2019 году в связи с принятием закона о раздельном сборе мусора. Однако отдельных контейнеров для пищевых отходов чаще всего не предусмотрено.

Рассматривая мировой опыт, в первую очередь, страны Европы, можно отметить, что проблема раздельного сбора там решена. Ка-

ждый тип отходов выбрасывается в отдельный мусорный контейнер, за которым потом приезжает отдельная машина, развозящая различные отходы на разные типы заводов. Однако примеряя подобный опыт на российские реалии, нужно учесть различия в размерах территории и плотности населения стран ЕС и России. Затраты на логистику в Нидерландах гораздо ниже, чем в РФ, где от населенного пункта до ближайшего мусороперерабатывающего завода, в условиях их дефицита, нужно преодолеть огромное расстояние.

Результаты работ российского социолога Шабановой М.А. опровергают широко распространенное мнение о том, что россияне не готовы к включению в практику РСБО. Полученные данные о приемлемых для населения затратах времени на сортировку и доставку отходов в раздельные контейнеры (пункты) указывают на первостепенную важность развития инфраструктуры доступности: высокоплотной сети контейнеров-пунктов для сбора отходов, выделения при проектировании новых жилых домов специальных, предназначенных для этого помещений [9].

Наблюдается рост ответственности производителей за цикл жизни товара в РФ. Отдельные производители, в том числе молочной продукции, размещают информацию о местах сбора использованной упаковки на общедоступных информационных площадках, тем самым организуют процесс переработки и снижения количества ТКО [4, 8].

Повторное использование в качестве вторичного сырья

При рассмотрении использования пищевых отходов и просроченных продуктов без учета упаковки не вызывает сомнений утверждение ряда авторов, что отходы пищевого производства могут быть рассмотрены как составляющая часть сырьевой базы животноводства. По оценкам сотрудников Университета Милана L. Pinotti, A. Luciano, M. Ottoboni, M. Manoni, L. Ferrari и D. Marchis от 32 до 68 % урожая зерновых в мире идет на корм скоту [16]. Использование отходов в качестве сырья способствует получению полноценных кормов с минимальными затратами на их производство [2]. Однако подобные практики были запрещены в ряде стран, в частности Великобритании, США и ЕС, после вспышек заболеваний скота и его гибели, вызванных их кормлением загрязненными пищевыми отходами. В то же время ряд стран

продолжает использовать пищевые отходы в качестве источника кормов для животноводства. Наибольших успехов достигли Япония и Южная Корея, перерабатывающих в корма для свиней 35,9 и 42,5 % всех своих пищевых отходов [20]. Барьеры по внедрению подобных практик обычно лежат в вопросах микробиологической безопасности. Сушка и термическая обработка пищевых отходов перед употреблением в корм животным позволяет снизить количество влаги и уничтожить большинство микроорганизмов. Разработка технологий и проектных решений, сочетающих в себе решения по достижению микробиологической безопасности и сохранению необходимых питательных свойств, является, на наш взгляд, приоритетной задачей.

Производство непищевых продуктов с добавленной стоимостью

Одним из стратегических направлений развития промышленности передовых стран в современном мире является биотехнологическое получение химических продуктов из отходов. Используя микробиологическую переработку, можно получать различные вещества, такие как кормовой белок, сахара, органические кислоты, спирты, биотопливо, биологически активные соединения и многое другое [2].

Одной из основных технологий переработки пищевых отходов, по мнению многих авторов, является компостирование. Компостирование является третьим по популярности способом переработки пищевых отходов в странах ЕС [7].

Другие авторы предпочитают компостированию анаэробное сбраживание – процесс расщепления органического вещества без доступа кислорода. Конечным продуктом процесса является образование биогаза, состоящего на 50–75 % из метана и на 25–50 % из углекислого газа [18]. В качестве основных преимуществ перед компостированием указываются возможность использования более «грязного» исходного сырья, совместное сбраживание различных категорий отходов, отсутствие запахов в районе расположения установки и меньшее занимаемое место. Биогазовый потенциал пищевых отходов рассмотрел в своем исследовании белорусский ученый Капустин Н.Ф. По результатам его работы видно, что испорченные или просроченные пищевые продукты, такие как сметана, молочная сыворотка, молоко, чипсы кар-

тофельные и пиво имеют сопоставимый удельный выход метана при их анаэробной ферментации в сравнении с навозом крупного рогатого скота [3].

Однако использование совместного сбраживания различных видов сырья влечет за собой затруднения в последующем использовании дегистата – сухого и жидкого остатков, образовавшихся в процессе сбраживания. Наличие загрязняющих примесей не позволяет его использование в качестве удобрения почв. Еще одним существенным недостатком метода перед компостированием является себестоимость. По оценкам экспертов затраты на возведение установки для анаэробного сбраживания превышают затраты на компостирование в 10 раз [21].

Таким образом, по мнению американских ученых Arpit H. Bhatt и Ling Tao, экономически биогаз не может конкурировать с природным газом, цены на который на момент исследования в 2020 году находились на минимальных значениях за долгие годы. Тем не менее, в качестве направления для дальнейшей работы ими была указана необходимость разработки технологических решений увеличения доли выхода метана и уменьшения доли углекислого газа [10].

Внимания заслуживают отдельные исследования специалистов в области извлечения ценных веществ из пищевых отходов лабораторными методами, не получившими на текущий момент широкого применения. Среди них экстракция пектинов и Омега-3 с помощью ультразвуковой или микроволновой экстракции, сочетание ультразвуковой и ферментной экстракций для получения белков, технологии экстракции антиоксидантов, каротиноидов и фенольных соединений [11]. Поиск новых решений экстракции ценных веществ из пищевых отходов с конкурентной стоимостью и возможностью использования в промышленных масштабах является приоритетным направлением исследований.

Одним из альтернативных способов утилизации пищевых упаковок является использование в качестве наполнителя для строительных материалов. Процесс переработки пищевых отходов состоит из измельчения и последующего использования измельченных упаковок и твердых продуктов при изготовлении добавок для производства цемента по ТУ 5743-001-84050842-09 [12].

Множество публикаций посвящено возможностям переработки пластиковой много-разовой и одноразовой упаковок, что обусловлено постепенным введением РОП и необходимостью соответствовать требованиям переработки [4, 5, 8].

Термическая утилизация

Термическая переработка непосредственно пищевых отходов не целесообразна. Высокое содержание влаги влияет на воспламеняемость и теплотворную способность [20]. Обычно пищевые отходы поступают на сжигание в составе смешанных ТКО. Таким образом, удается добиться теплотворности в 1900 ккал/кг, необходимой для эффективного сжигания с рекуперацией энергии. По мнению многих экспертов, термическая обработка остается самым популярным способом переработки ТКО во всем мире [7, 14, 20].

Сжигание позволяет сократить объем отходов на 90 % и массу на 70 %. Однако в процессе сжигания мусора образуется большой объем золы, которая представляет еще большую опасность, чем сами отходы и из-за ограниченности применения требует захоронения. Проблему представляют и затраты на создание мусоросжигательного завода (капитальные – от 80 до 100 тыс. долларов на тонну, сжигаемую в день, эксплуатационные расходы достигают 20 долларов за тонну) [7].

Пиролиз является альтернативой сжиганию. В процессе пиролиза происходит термическое разложение углеводородных соединений при недостатке кислорода на составляющие менее тяжёлые молекулы под действием высокой температуры. В результате пиролиза образуются пиролизный газ, жидкие продукты и твердый углеродистый остаток. Преимущество пиролизного газа перед природным состоит в том, что в его состав не входит соединения серы и азота. А преимущества технологии перед сжиганием состоит в отсутствии образования токсичных соединений, диоксинов и тяжелых металлов, выбрасываемых в атмосферу.

Перспективные исследования произвел вместе с коллегами китайский ученый Gang Li в области совместного пиролиза пластика и органических материалов, так называемого ко-пиролиза. Анализ показал, что совместный пиролиз грибных палочек с пластиковой упаковкой из-под муки снизил энергию активации реакции, повысил степень реакции пиролиза, снизил образование загрязняющих веществ [15].

Захоронение

Популярность захоронения отходов на полигонах и свалках в разных странах растет со снижением уровня их экономического развития [7]. С 1992 по 2019 год основной стратегией по обращению с отходами в России являлось захоронение. Высокий процент пищевых отходов в составе содержимого полигонов и свалок провоцирует его разложение с образованием свалочного газа, состоящего наполовину из метана и наполовину из углекислого газа. Поэтому важным направлением модернизации полигонов является развитие технологий улавливания свалочного газа с последующим его сжиганием в факелах или для выработки электроэнергии. Предыдущие исследователи сообщали, что коэффициент извлечения свалочного газа составляет от 35 до 90 % [17].

Около 33 % мировых отходов приходится на открытые свалки [14]. Чтобы избежать смешения загрязняющих выделений в почву, а также попадания подземных вод в зону складирования и захоронения отходов, используются противодиффузионные экраны [7].

Необходимо отметить, что несмотря на очевидную актуальность проблемы образования и накопления пищевых отходов, большинство вышеперечисленных технологий повторного использования и переработки пищевых отходов не нашли широкого применения в отечественной практике из-за экономической целесообразности и объективной необходимости их адаптации к российским реалиям.

Выводы

В данном обзоре нами была рассмотрена 21 публикация на тему ресурсосберегающих технологий, сокращения образования пищевых отходов и экологизации пищевых производств. Проанализировав наиболее распространенные технологии переработки, историю и пути их внедрения, были сформированы следующие перспективные направления для дальнейшего исследования: разработка проектных решений по раздельному сбору пищевых отходов и модернизации существующих мусоропроводных систем; разработка технологий и проектных решений, сочетающих в себе решения по достижению микробиологической безопасности и сохранению необходимых питательных свойств кормов на основе пищевых отходов; разработка решений по повышению КПД установок анаэробного сбраживания; поиск новых технологий экстракции ценных веществ из пищевых отходов с конку-

рентной стоимостью и возможностью использования в промышленных масштабах.

Анализ технической литературы и публикационной активности по основным базам данных Scopus, Google Scholar, Science Direct, РИНЦ, свидетельствует об актуальности разработки ресурсосберегающих технологий, поиска решения проблем экологизации и со-

кращения образования пищевых отходов. Полученный в ходе систематического обзора материал может быть использован при планировании новых исследований, в качестве материала, описывающего современный уровень развития технологий, совершенствования существующих и поиска новых ресурсосберегающих решений.

Список литературы

1. Гладштейн Ю.Г., Сергиенко О.И., Юльметова Р.Ф. и др. Обращение с отходами: российский и финский опыт: учебное пособие. СПб., 2021. 158 с.
2. Епишов А.П., Жура С.Е., Епишов Н.А. Государственная политика в сфере переработки и утилизации пищевых отходов в России // Вестник Российского экономического университета имени Г.В. Плеханова. 2022;(6):17–23. DOI: 10.21686/2413-2829-2022-6-17-23.
3. Капустин Н.Ф. Биогазовый энергопотенциал пищевых отходов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2020;(54):186–189.
4. Кирш И.А., Зима С.А., Аросева А.Г. и др. Разработка технологии многократной переработки многослойной упаковки // Актуальные исследования и разработки в области социально-экономических и технических наук: материалы III Международной научно-практической конференции / под общ. ред. Е.А. Назарова. Казань, 2022. С. 49–53.
5. Кирш И.А., Овсянников С.А., Безнаева О.В. и др. Перспективы повторной переработки отходов одноразовой упаковки // Health, Food & Biotechnology. 2022. Т. 4. № 2. С. 31–47.
6. Осадчий Н.К. Анализ ключевых вопросов сокращения образования пищевых отходов: международный и Российский опыт // Современная экономика: проблемы и решения, 2022. Т. 7, 29–47.
7. Осипов А.Б., Сергеева А.В. Обеспечение экологичности технических систем при утилизации отходов // Техничко-технологические проблемы сервиса, 2022. № 1 (59). С. 71–80.
8. Фриче В. Производство и переработка пластиковой упаковки в Европе // Переработка молока. 2021. № 1 (255). С. 60–63.
9. Шабанова М.А. Раздельный сбор бытовых отходов в России: уровень, факторы и потенциал включения населения // Мир России. 2019. Т. 28, № 3. С. 88–112. DOI: 10.17323/1811-038X-2019-28-3-88-112.
10. Bhatt A.H., Tao L. Economic Perspectives of Biogas Production via Anaerobic Digestion // Bioengineering. 2020. 7(3), 74. DOI: 10.3390/bioengineering7030074.
11. Dini I. Bio Discarded from Waste to Resource // Foods. 2021. 10, 2652. DOI: 10.3390/foods10112652.
12. Eko-Track (2023). Available at: <http://www.eko-track.com/services/pererabotka-produktsii/utilizatsiya-pishchevykh-otkhodov> (accessed 24.02.2023).
13. Gustavsson J., Cederberg C., Sonesson U., Otterdijk L., Meybeck A. Global Food Losses and Food Waste: Extent, Causes and Prevention Food and Agricultural Organization. Rome, Italy, 2011.
14. Kazimierowicz J. Legal Regulations and Methods Neutralising Expired Food Products // Journal of Ecological Engineering. 2018. Vol. 19, Is. 6. P. 217–224. DOI: 10.12911/22998993/89828.
15. Li G., Yang T., Xiao W., Wu J., Xu F., Li L., Gao F., Huang Z. Sustainable Environmental Assessment of Waste-to-Energy: Co-Pyrolysis of Food Waste and Discarded Meal Boxes // Foods. 2022. 11, 3840. DOI: 10.3390/foods11233840.
16. Pinotti L., Luciano A., Ottoboni M., Manoni M., Ferrari L., Marchis D., Tretola M. Recycling food leftovers in feed as opportunity to increase the sustainability of livestock production // Journal of Cleaner Production, 2021. 294, 126290. DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.126290.
17. Purmessur B.; Surroop D. Power generation using landfill gas generated from new cell at the existing landfill site // J. Environ. Chem. Eng., 2019. 7 (3), Article 103060.

18. Sang-Arun J., Heng C.K., Rithy U., Phalla S. A guide for technology selection and implementation of urban organic waste utilization projects in Cambodia // IGES Policy Report-2011-06. Japan: Institute for Global Environmental Strategies (IGES). 2011.
19. UN (United Nations). (2023). Revision of World Population Prospects. Available at: <https://population.un.org/wpp> (accessed 24.02.2023)
20. Wang Y., Yuan Z., Tang Y. Enhancing food security and environmental sustainability: A critical review of food loss and waste management // Resources, Environment and Sustainability, 2021. 4, 100023. DOI: 10.1016/j.resenv.2021.100023.
21. Zulkepli N., Muis Z., Mahmood N., Hashim H., Ho W. Cost Benefit Analysis of Composting and Anaerobic Digestion in a Community: A Review // Chemical Engineering Transactions, 2017. 56, 1777–1782. DOI: 10.3303/CET1756297.

References

1. Gladshtejn Ju.G., Sergienko O.I., Jul'metova R. F., Sil'vennojnen-Hijsku S., Piippo S., Koroleva E.B. *Obrashchenie s otkhodami: rossiyskiy i finskiy opyt* [Waste management: Russian and Finnish experience]. St. Petersburg, 2021. 158 p.
2. Epishov A.P., Zhura S.E., Epishov N.A. State policy in the field of processing and disposal of food waste in Russia. *Bulletin of the Plekhanov Russian University of Economics*, 2022;(6):17–23. (In Russ.) DOI: 10.21686/2413-2829-2022-6-17-23.
3. Kapustin N.F. Biogas energy potential of food waste. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva* [Mechanization and electrification of agriculture], 2020;(54):186–189. (In Russ.)
4. Kirsh I.A., Zima S.A., Aroseva A.G., Tveritnikova I.S., Novikov M.N. Development of technology for multiple processing of multilayer packaging. *Aktual'nye issledovaniya i razrabotki v oblasti sotsial'no-ekonomicheskikh i tekhnicheskikh nauk* [Current research and development in the field of socio-economic and technical sciences. Materials of the III International Scientific and Practical Conference]. Kazan', 2022, pp. 49–53. (In Russ.)
5. Kirsh I.A., Ovsjannikov S.A., Beznaeva O.V., Bannikova O.A., Gubanov M.I., Novikov M.N., Tveritnikova I.S. Prospects for recycling of disposable packaging waste. *Health, Food & Biotechnology*, 2022, vol. 4, no. 2, pp. 31–47. (In Russ.)
6. Osadchij N.K. Analysis of the key issues of reducing the formation of food waste: international and Russian experience. *Sovremennaya ekonomika: problemy i resheniya* [Modern economy: problems and solutions], 2022, vol. 7, pp. 29–47. (In Russ.)
7. Osipov A.B.; Sergeeva A.V. Ensuring the environmental friendliness of technical systems during waste disposal. *Tekhniko-tekhnologicheskie problemy servisa* [Technical and technological problems of the service], 2022, no. 1 (59), pp. 71–80. (In Russ.)
8. Friche V. Production and processing of plastic packaging in Europe. *Milk processing*, 2021, no. 1 (255), pp. 60–63. (In Russ.)
9. Shabanova M.A. Separate collection of household waste in Russia: the level, factors and potential of inclusion of the population. *The world of Russia*, 2019, vol. 28, no. 3, pp. 88–112. (In Russ.) DOI: 10.17323/1811-038X-2019-28-3-88-112.
10. Bhatt A.H., Tao L. Economic Perspectives of Biogas Production via Anaerobic Digestion. *Bi-oengineering*, 2020. 7(3), 74; DOI: 10.3390/bioengineering7030074.
11. Dini, I. Bio Discarded from Waste to Resource. *Foods*, 2021. 10, 2652. DOI: 10.3390/foods10112652.
12. *Eko-Track* (2023). Available at: <http://www.eko-track.com/services/pererabotka-produktsii/uzilizatsiya-pishchevykh-otkhodov> (accessed 24.02.2023).
13. Gustavsson J., Cederberg C., Sonesson U., Otterdijk L., Meybeck A. *Global Food Losses and Food Waste: Extent, Causes and Prevention Food and Agricultural Organization*. Rome, Italy, 2011.
14. Kazimierowicz J. Legal Regulations and Methods Neutralising Expired Food Products. *Journal of Ecological Engineering*, 2018, vol. 19, iss. 6, pp. 217–224. DOI: 10.12911/22998993/89828.
15. Li G., Yang T., Xiao W., Wu J., Xu F., Li L., Gao F., Huang Z. Sustainable Environmental Assessment of Waste-to-Energy: Co-Pyrolysis of Food Waste and Discarded Meal Boxes. *Foods*, 2022. 11, 3840. DOI: 10.3390/foods11233840.

16. Pinotti L., Luciano A., Ottoboni M., Manoni M., Ferrari L., Marchis D., Tretola M. Recycling food leftovers in feed as opportunity to increase the sustainability of livestock production. *Journal of Cleaner Production*, 2021. 294, 126290. DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.126290.
17. Purmessur B., Surroop D. Power generation using landfill gas generated from new cell at the existing landfill site *J. Environ. Chem. Eng.*, 2019. 7 (3), Article 103060.
18. Sang-Arun J., Heng C.K., Rithy U., Phalla S. A guide for technology selection and implementation of urban organic waste utilization projects in Cambodia. *IGES Policy Report-2011-06*. Japan: Institute for Global Environmental Strategies (IGES), 2011.
19. UN (United Nations). (2023). Revision of World Population Prospects. Available at: <https://population.un.org/wpp> (accessed 24.02.2023)
20. Wang Y., Yuan Z., Tang Y. Enhancing food security and environmental sustainability: A critical review of food loss and waste management. *Resources, Environment and Sustainability*, 2021. 4, 100023. DOI: 10.1016/j.resenv.2021.100023.
21. Zulkepli N., Muis Z., Mahmood N., Hashim H., Ho W. Cost Benefit Analysis of Composting and Anaerobic Digestion in a Community: A Review. *Chemical Engineering Transactions*, 2017. 56, 1777–1782. DOI: 10.3303/CET1756297.

Информация об авторах

Суворов Олег Александрович, доктор технических наук, профессор кафедры индустрии питания, гостиничного бизнеса и сервиса, Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), Москва, Россия, suvorovOA@ya.ru

Кузнецов Александр Львович, кандидат технических наук, ведущий инженер-технолог, АО «345 МЗ», Московская обл., Балашиха, Россия, a.l.kuznetsov@bk.ru

Воротынцев Николай Эдуардович, аспирант, Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), Москва, Россия, vorotyntsev93@gmail.com

Князев Евгений Юрьевич, аспирант, Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), Москва, Россия, knyazev@intellecthouse.ru

Мойсеяк Марина Борисовна, кандидат технических наук, профессор кафедры технологии бродильных производств и виноделия, Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), Москва, Россия, mojjseyakMB@mgupp.ru

Information about the authors

Oleg A. Suvorov, DS, Professor of the Department of Food Industry, Hotel Business and Service, Russian Biotechnological University (ROSBIOTECH), Moscow, Russia, suvorovOA@ya.ru

Alexander L. Kuznetsov, Ph.D, Leading engineer-technologist, JSC “345 MZ”, Balashikha, Moscow Region, Russia, a.l.kuznetsov@bk.ru

Nikolay E. Vorotyntsev, postgraduate student, Russian Biotechnological University (ROSBIOTECH), Moscow, Russia, vorotyntsev93@gmail.com

Evgeniy Y. Knyazev, postgraduate student, Russian Biotechnological University (ROSBIOTECH), Moscow, Russia, knyazev@intellecthouse.ru

Marina B. Moiseyak, Ph.D, Professor of the Department of Technology of Fermentation and Winemaking, Russian Biotechnological University (ROSBIOTECH), Moscow, Russia, mojjseyakMB@mgupp.ru

Статья поступила в редакцию 23.03.2023

The article was submitted 23.03.2023