

На правах рукописи



Мяленко Дмитрий Михайлович

**НАУЧНЫЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ УПАКОВОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ С
УСКОРЕННОЙ ДЕГРАДАЦИЕЙ ДЛЯ МОЛОЧНОЙ ПРОДУКЦИИ**

4.3.3. – Пищевые системы

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

МОСКВА – 2024

Работа выполнена в Федеральном государственном автономном научном учреждении «Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности» (ФГАНУ «ВНИМИ»)

Научный консультант: **Федотова Ольга Борисовна**
доктор технических наук, старший научный сотрудник

Официальные оппоненты: **Ольхов Анатолий Александрович** доктор технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории перспективных композиционных материалов Российского экономического университета им. Г.В. Плеханова

Колпакова Валентина Васильевна
доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник, заведующая отделом Биотехнологии комплексной переработки крахмалосодержащего сырья Всероссийского научно-исследовательского института крахмала и переработки крахмалосодержащего сырья – Филиала ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр картофеля им. А.Г. Лорха»

Насонова Виктория Викторовна
доктор технических наук, руководитель отдела научно-прикладных и технологических разработок Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН

Ведущая организация: ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)»

Защита состоится «3» апреля 2025 г. в 10 часов 00 минут на заседании объединенного совета по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук 99.0.092.02 по научной специальности 4.3.3 Пищевые системы (технические науки) при ФГАНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности», ФГБОУ ВО «Российский биотехнологический университет» (РОСБИОТЕХ) по адресу: 125080, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 11, корп. А, зал А-1 (Эко-лекторий).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеках ФГАНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности», ФГБОУ ВО «Российский биотехнологический университет» (РОСБИОТЕХ) и на официальном сайте ФГБОУ ВО «РОСБИОТЕХ» <http://www.mgupp.ru/>.

С авторефератом можно ознакомиться на официальных сайтах ВАК Минобрнауки РФ (<http://vak.ed.gov.ru>) и ФГБОУ ВО «РОСБИОТЕХ» (<http://www.mgupp.ru/>).

Автореферат разослан «___» _____ 202__5 г.

Ученый секретарь
Совета 99.0.092.02



Ю.В. Николаева

Актуальность работы. В соответствии со Стратегией научно-технологического развития и Доктрины продовольственной безопасности РФ, одной из первоочередных задач государства является обеспечение населения качественными и безопасными продуктами питания.

В современных условиях невозможно представить молочное производство без современной упаковки, кроме того, стадии фасования и хранения продукции являются неотъемлемой частью технологического процесса производства.

В составе современной упаковки для продуктов питания доля пластика составляет более 60%. Полимерные материалы, практически не используются в чистом виде. Внесение в полимерную основу модификаторов, стабилизаторов наполнителей, позволяет не только придать материалам необходимые функциональные свойства, но и, одновременно, может привести к ухудшению их показателей безопасности. Полимеры подвержены деструкции, относительно быстро утрачивают прочность и эластичность под влиянием внешних факторов окружающей среды или других физических, или химических воздействий.

Наиболее интересными и перспективными являются упаковочные системы, содержащие в своем составе вещества с антимикробными и антиоксидантными свойствами, направленно влияющие на упакованный пищевой продукт и стабилизирующие его в процессе хранения.

В рамках федерального проекта «Комплексная система обращения с твердыми коммунальными отходами» реализуется Государственная программа Российской Федерации «Охрана окружающей среды» (утверждена постановлением Правительства Российской Федерации от 15.04.2014 № 326) и национальный проект «Экология». Технологии создания новых материалов с заданными свойствами и эксплуатационными характеристиками являются приоритетными направлениями научно-технологического развития в соответствии с Указом Президента Российской Федерации от 18 июня 2024 г. № 529. Разработка биоразлагаемых и модифицированных упаковочных систем неразрывно связана с изучением взаимного влияния, как упаковки на продукт, так и продукта на упаковку.

В связи с вышеизложенным, совершенствование научно-технологических подходов к созданию модифицированных упаковочных систем для молочной продукции на основе полиолефинов и биополимеров является актуальным направлением научного поиска.

Степень разработанности темы исследования. Значительный вклад в создание упаковочных материалов, и изучению их свойств, а также стойкости к деструкции под воздействием различных факторов окружающей среды внесли отечественные и зарубежные ученые: Ананьев В.В., Асякина Л.К., Антипин В.С., Донцова Э.П., Дышлюк Л.С., Заиков Г.Е., Кирш, И.А. Крыжановский В.К., Подкопаев Д.О., Попов А.А., Снежко А.Г., Федотова О.Б. Cagri A, Han J.H., Lopez P., Garcia M.A. и др.

Множество технических, научных и практических решений, предложенных учеными, являлись базовой основой для развития упаковочной отрасли в части создания модифицированных материалов на основе полиолефинов и биополимеров.

Цель и задачи.

Цель работы: совершенствование научно технологических подходов к созданию модифицированных упаковочных систем для молочной продукции на основе полиолефинов и биополимеров.

Для достижения поставленной цели было необходимо решить следующие **задачи**:

1. Провести анализ научно-технической информации в части существующих модифицирующих компонентов и биоразлагаемых материалов в контексте с оценкой их возможности использования в составе упаковочных систем.
2. Разработать синтетические полимерные материалы на основе полиолефинов, модифицированных органическими и неорганическими компонентами с использованием методологии совмещения в расплаве и оценить комплекс их свойств, в том числе, способность к деградации.
3. Исследовать динамику физико-механических характеристик, модифицированных биоразлагаемых полимерных материалов на основе полилактида (PLA) и полибутиленадипаттерефталата (PBAT) в условиях компостирования и, комплексно, изучить изменение микроструктуры и спектральных характеристик образцов, как откликов процесса деградации.
4. Провести исследования комплексной интегральной санитарно-химической безопасности разработанных модифицированных синтетических и биоразлагаемых материалов в условиях моделирования.
5. Изучить особенности хранения молочной продукции и пищевых модельных систем в разработанных синтетических и биоразлагаемых упаковочных материалах, с учетом оптимизации параметров сохранности продукции и определить их потенциальную применимость в качестве альтернативы традиционным.
6. Провести ранжирование показателей качества и безопасности биоразлагаемых упаковочных систем при оценке их деградируемости, разработать прогностическую модель.
7. Разработать документы в области стандартизации и провести апробацию разработанных полимерных и биоразлагаемых упаковочных материалов, модифицированных органическими и минеральными компонентами.

Научная концепция.

Реализация комплексного подхода к созданию современных упаковочных материалов позволит определить вектор развития и научные принципы их совершенствования; спрогнозировать и оценить направленное воздействие компонентов упаковочной системы на контактирующий молочный продукт.

Разработку технологии упаковочных материалов с заданным комплексом функциональных свойств можно обеспечить за счет:

рационального сочетания приемов направленного регулирования состава и свойств исходного базового сырья и модифицирующих компонентов: оптимизации соотношения компонентов, оптимизации технологического процесса формирования материалов при изготовлении и прогнозирования потенциальной деградации упаковочных систем в посттехнологических условиях.

Совокупность свойств молочного продукта, сроков и условий его хранения определяет базовый научно-технологический подход к выбору упаковочных систем, адаптированных к конкретным условиям применения.

Научная новизна. Предложена концепция создания новых упаковочных материалов с заданным комплексом функциональных свойств и ускоренной деградацией в посттехнологических условиях, реализуемая за счет комплексного подхода, включающего регулирование состава и свойств исходного базового сырья и модифицирующих компонентов.

Развиты методологические основы и определены диапазоны применения антимикробных компонентов при создании модифицированных и биоразлагаемых полимерных материалов.

Выявлены закономерности морфологических изменений, модифицированных синтетических и биоразлагаемых материалов при их хранении в условиях компостирования и при воздействиях, инициирующих фотоокислительную деструкцию.

Установлены зависимости изменения физико-механических показателей модифицированных материалов на основе полиолефинов и биополимеров в условиях компостирования и при воздействиях, инициирующих фотоокислительную деструкцию.

Выявлены закономерности изменения качества молочной продукции и пищевых моделей при их хранении в биоразлагаемой упаковке.

Предложена прогностическая модель оценки скорости деградации биоразлагаемых материалов в условиях компостирования.

Разработаны универсальные алгоритмы получения упаковочных систем для молочной продукции на основе полиолефинов и биополимеров.

Теоретическая и практическая значимость. Осуществлено развитие методологических основ и научно-технологических подходов в области создания и изучения модифицированных упаковочных систем для молочной продукции на основе полиолефинов и биополимеров.

Установлена возможность использования природных компонентов в качестве основных модифицирующих компонентов при создании полимерной упаковки с комплексом антимикробных и антиоксидантных свойств.

Развиты теоретические и практические основы биоразложения природных полимеров, применимых в качестве упаковки для пищевой продукции, реализованные в виде прогностической модели и оформленные в виде программного обеспечения (ПО): № 2024667793 «Прогностическая модель деградируемости пленочных упаковочных материалов».

Систематизированы и обобщены результаты исследований по созданию антимикробных модифицированных упаковочных материалов, а также рассмотрены принципы активации бактерицидных свойств их поверхности с использованием ультрафиолетового излучения, оформленные в виде патента на изобретение: № RU 2422475 С1 «Способ активации поверхности полимерного материала, модифицированного антимикробной добавкой бетулин»

Обоснованные принципы создания биоразлагаемых материалов на основе полиолефинов крахмала и антимикробных компонентов на основе бетулина реализованы в виде патента на изобретение: № RU 2725644 С1 «Биодеградируемая полимерная композиция с антимикробными свойствами на основе полиолефинов»

Работа соответствует Паспорту научной специальности 4.3.3 «Пищевые системы пп. 5; 12; 16; 27; 35 (Технические науки).

В результате проведенных исследований разработаны и утверждены документы по стандартизации: ТУ 2245-15-00419785-2015 «Буылки и банки полимерные с антимикробной добавкой»; Технологическая инструкция на производство буылков и банок полимерных с антимикробной добавкой; «Исходные требования на опытный образец суперконцентрата ПОЛИБАКТ® на основе полиолефинов с антимикробной и/или антиоксидантной добавкой»; СТО 00416785-032-2017 «Контейнеры полимерные с антимикробной добавкой» СТО 00419785-041-2019 «Контейнеры полимерные многослойные с антимикробной добавкой»; СТО 00419785-042-2019 «Лента полипропиленовая многослойная с антимикробной добавкой»; ТУ 22.21.30-087-00419785-2022 «Пленка биоразлагаемая»; ТУ 22.21.30-089-00419785-2022 «Пленка биоразлагаемая модифицированная»; СТО 00419785-077-2024 «Пленка полиэтиленовая минеральная».

Методология и методы исследования. Теоретические и экспериментальные исследования выполнены в соответствии с поставленными задачами в лаборатории технологий упаковки Федерального государственного автономного научного учреждения Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности в рамках государственного задания по программе фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013-2020гг по направлению «Научные основы управления биохимическими и технологическими процессами хранения продовольственного сырья и пищевых продуктов с целью сокращения потерь, стабилизации качества и повышения хранимостности продукции» и «Развитие научных принципов глубокой переработки и обеспечения длительного хранения молочного сырья и продукции с применением малоотходных ресурсосберегающих технологий» на 2022-2024гг.

Для проведения экспериментальных работ по оценке разработанных упаковочных материалов, а также упакованных в нее молочных продуктов и пищевых моделей использованы общепринятые методы исследований их

физико-химических, органолептических, микробиологических показателей. Анализ структурных изменений проводили с применением методов сканирующей электронной микроскопии (SEM), энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии (EDX), ИК спектроскопии (ИК Фурье МНПВО), и рамановской ИК спектроскопии.

Положения, выносимые на защиту.

1. Усовершенствованные научно технологические подходы к созданию модифицированных упаковочных систем для молочной продукции на основе полиолефинов и биополимеров.
2. Закономерности морфологических изменений модифицированных синтетических и биоразлагаемых материалов при их хранении в условиях компостирования и при воздействиях, инициирующих фотоокислительную деструкцию.
3. Зависимости физико-механических изменений модифицированных материалов на основе полиолефинов и биополимеров в условиях компостирования и при воздействиях, инициирующих фотоокислительную деструкцию.
4. Закономерности изменения качества молочной продукции и пищевых моделей при хранении в биоразлагаемых упаковках.
5. Совокупность результатов анализа по оценке качества и безопасности, разработанных материалов на основе полиолефинов и биополимеров для молочной и пищевой продукции.
6. Прогностическая модель оценки деградации упаковочных материалов в условиях компостирования.
7. Универсальные алгоритмы получения упаковочных систем для молочной продукции на основе полиолефинов и биополимеров.

Личный вклад соискателя. Диссертационная работа выполнена автором самостоятельно и является результатом многолетних научных исследований. Автором лично определены актуальность, цель и задачи, сформулирована концепция, обоснованы объекты и методы исследований; получены и обобщены теоретические и экспериментальные данные, сформулированы основные результаты и выводы.

Степень достоверности и апробация работы. Работа построена на подходах и принципах, базирующихся на достижениях фундаментальной и прикладной науки. Полученные экспериментальные исследования опубликованы в полном объеме в значимых отечественных и международных научных журналах. Высокая воспроизводимость полученных результатов подтверждает их корректность и соответствует базовым представлениям в предметной области.

Основные результаты работы представлены на международных и всероссийских симпозиумах, конференциях, конгрессах, семинарах: (Волгоград 2010); (Москва 2013, 2014, 2016, 2017, 2019); (Видное 2014); (Волгоград 2015); (Кемерово 2015, 2017, 2022); (Ставрополь 2015); (Лондон 2022); (Пекин 2022); (Углич 2022, 2023).

Отдельные разделы диссертационной работы отмечены дипломами за лучшую научную разработку президиумом Российской академии сельскохозяйственных наук, управлением по координации и обеспечению деятельности организаций в сфере сельскохозяйственных наук ФАНО в 2011 и 2015 годах. Разработанные технологии награждены золотой медалью на XV российской агропромышленной выставке «Золотая осень» в 2013г.

Публикации. Основное содержание диссертационной работы опубликовано в 66 печатных работах, в том числе, в 3 монографиях, 18 в журналах из перечня ВАК, 7 в статьях, индексируемых в международных базах цитирования Web of Science и Scopus, в 3 патентах РФ на изобретение, в журналах и материалах конференций, индексируемых РИНЦ (RSCI).

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, семи глав, результатов и выводов, списка использованных литературных источников (481 наименование) и приложений. Основной текст изложен на 253 страницах, содержит 32 таблицы и 129 рисунков.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, аргументированы концепция и научная новизна, сформулирована цель и поставлены задачи, показана практическая значимость, представлены методологические основы работы, достоверность и уровень апробации, сформулированы научные положения, выносимые на защиту.

В первой главе Представлена классификация, свойства, области применения биоразлагаемых полимеров. Описаны основные органические и неорганические модификаторы для придания синтетическим материалам дополнительных свойств, в том числе ускоряющих деградацию. Проанализированы основные способы утилизации и переработки биоразлагаемых материалов, а также рассмотрены их особенности с точки зрения потенциального применения в качестве пищевой упаковки. Для молочной продукции эта проблема стоит еще более актуально, так как молоко – это живая сложносоставная система с различной кислотностью и комплексом биохимических свойств, которые в процессе хранения могут оказывать негативное влияние на сохранность продукта в биоразлагаемых композициях. Рассмотрены основные группы микроорганизмов, ускоряющих процесс биodeградации.

Во второй главе представлены методология, объекты и методы исследований. Схема организации проведения экспериментальных работ представлена на Рисунке 1.



Рисунок 1 – Схема проведения исследований

В качестве объектов исследований были выбраны: Бетулин по ТУ 9197-034-58059245-08; пленка из полиэтилена низкой плотности (LDPE) марки 15803-020 по ГОСТ 16337-2022; Пленка LDPE модифицированная CaCO_3 с концентрацией 50,0% и 70,0%; контейнеры из PE по ГОСТ 33756-2016; Контейнеры PE, в том числе многослойные модифицированные бетулином 0,5%масс и 1,0%масс; Бутылки PE модифицированные бетулином 0,5%масс и 1,0%масс.; Биоразлагаемые пленки на основе PLA/PBAT с крахмалом и TiO_2 ;

Биоразлагаемые пленки на основе PLA/PBAT; Культуры микроорганизмов – бактерии группы кишечных палочек (БГКП), дрожжи, плесневые грибы; Сметана м.д.ж 20% по ГОСТ 31452-2012; Творог обезжиренный по ГОСТ 31453-2013; Творог м.д.ж. 9,0% по ГОСТ 31453-2013; Масса творожная м.д.ж. 18,0%; Пищевые модельные продукты на основе творога обезжиренного, творога м.д.ж. 9,0% и массы творожной м.д.ж.18,0%; Сливки высокожирные м.д.ж. 30,0% по ГОСТ 31451-2013; Жировой продукт м.д.ж. 60,0%.

Однослойные, многослойные контейнеры из PE и выдувные бутылки из PE, модифицированного органическими компонентами на основе бетулина в концентрации от 0,5масс. и 1,0%масс. проводили на технологическом оборудовании на предприятиях ООО «ЮМТ-Индастри», ООО «Бластор» и ООО «Эра Водолея» (Москва и Московская область).

Пленочные материалы на основе PE, в том числе модифицированные бетулином, CaCO_3 изготавливали на лабораторном экструдере модели SJ-28 из LDPE марки 15803-020 по ГОСТ 16337-2022 высшего сорта. Показатель текучести расплава ПТР (г/10 мин) 0,917 - 0,921.

Биоразлагаемые пленки на основе смеси PLA и PBAT, в том числе модифицированные крахмалом и бетулином, также изготавливали на лабораторном экструдере с раздувом рукава. T_n составляет 140 - 165°C с варьированием по зонам экструдера. Толщина пленок составляла 20 мкм и 45 мкм.

Определение прочности при разрыве (δ), относительного удлинения при разрыве (ϵ), и прочности сварных соединений проводили по ГОСТ 14236-81 и ГОСТ 12302-2013 на универсальной испытательной машине Shimadzu EZ-LX (с максимальной мощностью установленного детектора силы 2 кН, длиной хода траверсы 920 мм) с использованием профессионального программного обеспечения «TRAPEZIUM X».

Для определения краевого угла смачивания был применен метод растекающейся капли, который рассчитывается как угол между касательной, проведенной к поверхности смачивающей жидкости и поверхности твердого тела.

Облучение образцов проводили на экспериментальной макетной установке с постоянным источником УФ излучения постоянного горения с длиной волны 247 нм (лампа TUV 15W/G 15 T8 LONG LIFE фирмы Philips).

Исследования проводили на пяти модельных средах: раствор молочной кислоты 3,0%; раствор молочной кислоты 0,3%, раствор лимонной кислоты

2,0%, раствор уксусной кислоты 2,0% и дистиллированная вода. Исследования проводились в соответствии с МУК 4.1.3166-14, МУК 4.1.3167-14, МУК 4.1.3168-14, 4.1.3169-14, 4.1.3170-14, ГОСТ 34174-2017 и 34175-2017 с применением газового хроматографа Кристаллюкс 4000М с программным комплексом Netchom 2.1.

Метод определения формальдегида основан на его реакции с хромотроповой кислотой РД 52.54.492-2006 «Массовая концентрация формальдегида в водах. Методика выполнения измерений фотометрическим методом с ацетил ацетоном»

Оценку содержания металлов в модельных средах проводили с методом атомно-абсорбционной спектроскопии (ААС) и методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС) с использованием атомно-абсорбционного спектрометра Spectr AA-220 (Австралия, Varian Optical Spectroscopy Instruments) и спектрометра эмиссионного с индуктивно-связанной плазмой 5110 ICP-OES, (Малайзия, Agilent Technologies Bayan Lepas Free,).

Определение миграции модифицирующей добавки дигидрохверцетина (ДКВ) проводили с использованием лабораторного оборудования: хроматограф жидкостной Gilson, оснащенный спектрофотометрическим детектором; колонка ReproSil Pur ODS- 3,5 мкм 150*4,6; элюент ацетонитрил; вода; ортофосфорная кислота (22:78:0,5), скорость потока 1 мл/мин.

Оценку структуры поверхности разработанных опытных образцов проводили методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) на растровом электронном микроскопе Vega 3 (Tescan, Чехия) и детекторе для МРСА с дисперсией по энергии – X-Act (Oxford Instruments, Великобритания).

Микроскопические исследования проводились с использованием микроскопа Olympus BX50 с объективом Ach 20x/0,40 Phz/ (разрешающая способность 0,84 мкм) и ИК-Фурье микроскопа Bruker LUMOS (Германия).

Изучение изменения скорости деградации испытанных пленочных материалов проводили в лабораторных условиях без применения промышленного компостирувания. Температурные условия эксперимента составляли $20 \pm 2^\circ\text{C}$, влажность 65-80%. Применяли ускоритель компостообразования в состав которого входят не менее 30%: пшеничные отруби, натрий двууглекислый; 5% почвенные микроорганизмы.

Оценка микрофлоры ускорителя компостообразования проводилась с применением метода ПЦР диагностики с идентификацией видовых групп микроорганизмов.

Методы контроля показателей хранимоспособности упакованных продуктов применены в соответствии с требованиями нормативной документации (ГОСТ 31452-2012, ГОСТ 31453-2013) и ТР ТС 033/2013 «О безопасности молока и молочной продукции»

Результаты экспериментальных исследований обрабатывали с применением методов математической статистики и использованием программного обеспечения Statistica 10.0 (StatSoft Inc., США).

Визуализацию данных производили с использованием прикладного пакета программ Microsoft office (MS Word, MS Excel).

В третьей главе представлены данные по изучению физико-механических, структурно-механических, органолептических и микробиологических свойств полимерной упаковки на основе PE и модифицирующих компонентов на основе органических компонентов (бетулин и ДКВ) и неорганических компонентов (CaCO_3) в различных концентрациях.

Результаты физико-механических показателей, разработанных образцов представлены на Рисунке 2.

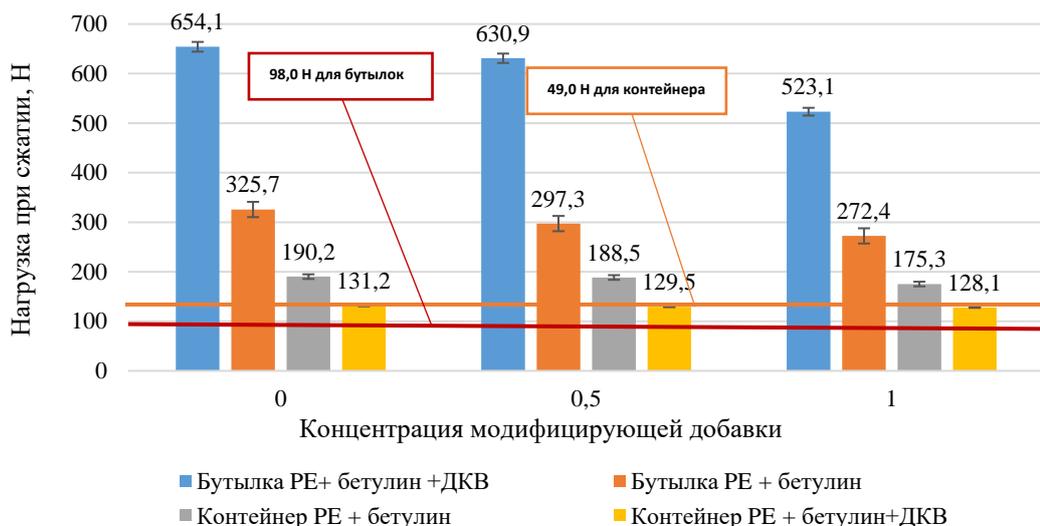
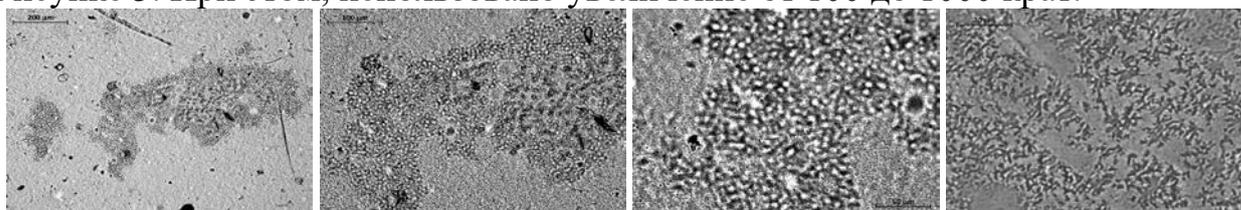


Рисунок 2 – Результаты физико-механических показателей, разработанных образцов

Водные вытяжки из разработанных образцов модифицированной выдувной и термоформованной тары при всех температурах и сроках экспозиции не содержат мути или осадка и не изменяют цвета. С увеличением температуры наблюдается усиление запаха вытяжек опытных образцов.

Для понимания распределения используемых добавок в массе базового полимера проведены исследования микроструктуры полученных образцов. Визуализация микроструктуры образцов, с использованием метода светлого поля позволила получить более детальную картину структуры поверхности модифицированной LDPE-пленки при разном увеличении, представленную на Рисунке 3. При этом, использовано увеличение от 100 до 1000 крат.



а) увеличение 100 крат б) увеличение 200 крат в) увеличение 400 крат д) увеличение 1000 крат

Рисунок 3 – Микрофотографии поверхности образцов модифицированной бетулином LDPE пленки при разном увеличении

Рассмотрение полученных микрофотографий поверхности модифицированной пленки показало, что введенная добавка визуализируется при всех вариантах увеличения и, что увеличения от 200 до 400 крат, в принципе, достаточно, для обнаружения ее в массе полимера.

Проведены исследования распределения добавки на основе бетулина в полимерных опытных образцах. На спектре с позиции, отмеченной, зеленой точкой, проявляются линии поглощения добавки бетулина в областях 880 и 1030 см^{-1} . Для определения распределения бетулина в полимерных образцах было произведено автоматическое интегрирование под пиком в области 880 см^{-1} . Вычисленное распределение добавки представлено на Рисунке 4. В исследованной области присутствуют как участки, не содержащие добавки бетулина, так и области с ее повышенным содержанием.

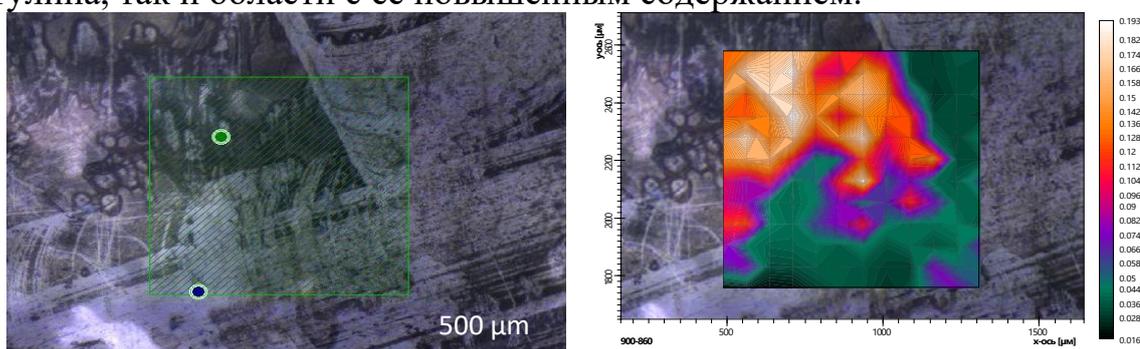


Рисунок 4 – Поверхность опытного образца со стороны непосредственно контактирующей с продуктом и 2D ИК участок над видимым изображением образца, с содержанием бетулина 1%

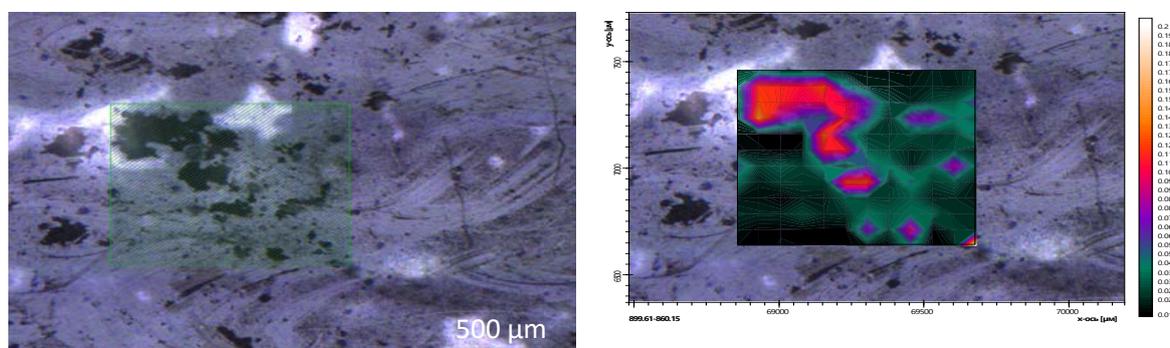


Рисунок 5 – Поверхность опытного образца со стороны непосредственно контактирующей с продуктом и 2D ИК участок над видимым изображением образца, с содержанием бетулина 0,5%. Зеленый квадрат – область автоматического НПВО картографирования

Результаты исследований распределения бетулина в образцах с массовым содержанием добавки 0,5% представлены на Рисунке 5. Из представленных результатов видно, что бетулин в полимерной основе распределяется неоднородно. Для достижения однородности его распределения при производстве опытных образцов использовали более интенсивное перемешивание основного сырья и суперконцентрата.

Поскольку бетулин является антимикробной добавкой, были проведены исследования бактерицидной эффективности поверхности

модифицированных образцов с применением принудительной контаминации базовыми микроорганизмами (Рисунок 6).

Наиболее сильный ингибирующий эффект достигается среди БГКП, даже при минимальном (0,5%) введении экстракта в массу полимера.

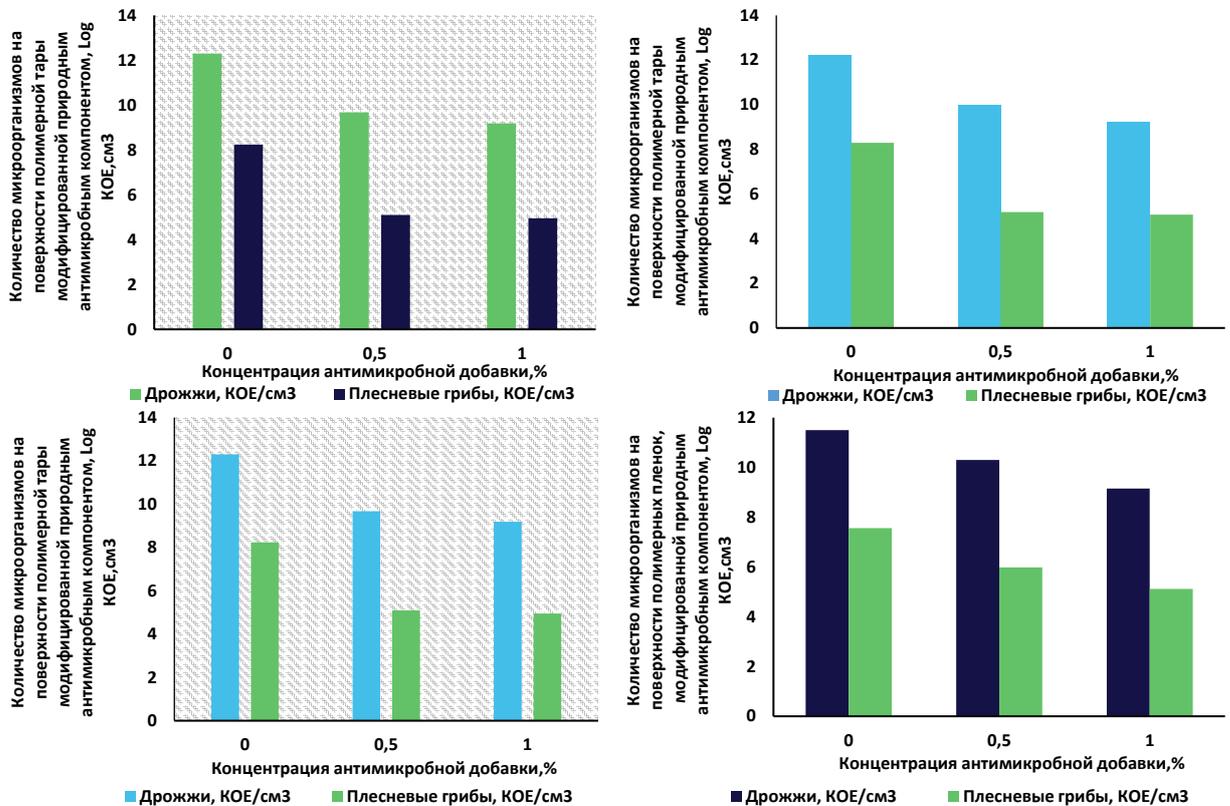
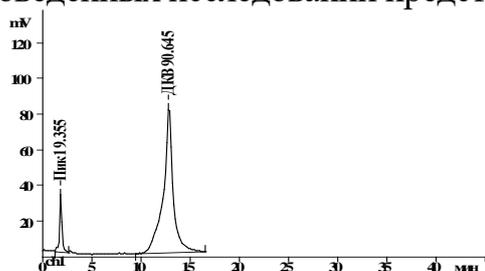


Рисунок 6 – Изменение количества микроорганизмов дрожжей и плесневых грибов в смыве с поверхности модифицированной выдувной и термоформованной тары, с различной концентрацией бетулина

Исследована возможность определения содержания ДКВ в вытяжках из модифицированных полимерных материалов с применением методов высокоэффективной жидкостной хроматографии. Визуально, на поверхности полимерных контейнеров в процессе хранения наблюдается небольшой белый налет. Нами была выдвинута рабочая гипотеза о том, что внесенные природные модификаторы частично мигрируют на поверхность полимерной упаковки. Концентрация ДКВ в экстракте составляла 92,0%.

Исходя из физических свойств ДКВ в качестве модельной среды для его количественного определения был выбран этиловый спирт. Результаты проведенных исследований представлены на Рисунке 7.



Содержание ДКВ в спиртовых вытяжках из модифицированных полимерных материалов

Наименование образца	Вес, г	%	ДКВ в образце	Содержание ДКВ в вытяжке, г
Термоформованная упаковка	42,8	0,5	0,0971	0,0091±0,00037
Термоформованная упаковка	42,7	1,0	0,2135	0,0183±0,00038

Рисунок 7 – Содержание ДКВ в вытяжках из модифицированных полимерных материалов на модельной среде – этиловый спирт.

Как видно из полученных хроматограмм, ДКВ частично мигрирует на поверхность модифицированных полимерных изделий, что подтверждает выдвинутую гипотезу. Для расчета его содержания в вытяжках измеряли площади пиков на хроматограммах испытуемого раствора и ГСО ДКВ.

На основании литературных данных выдвинута рабочая гипотеза, что УФ-излучение может являться фактором, инициирующим деградацию за счет активации протекания процессов фотоокислительной деструкции РЕ пленок, модифицированных CaCO_3 в концентрации 50,0% и 70,0%.

Контроль физико-механических показателей проводили сразу после облучения и через каждый месяц хранения. Результаты проведенных испытаний разрушающего напряжения при разрыве представлены на Рисунке 8.

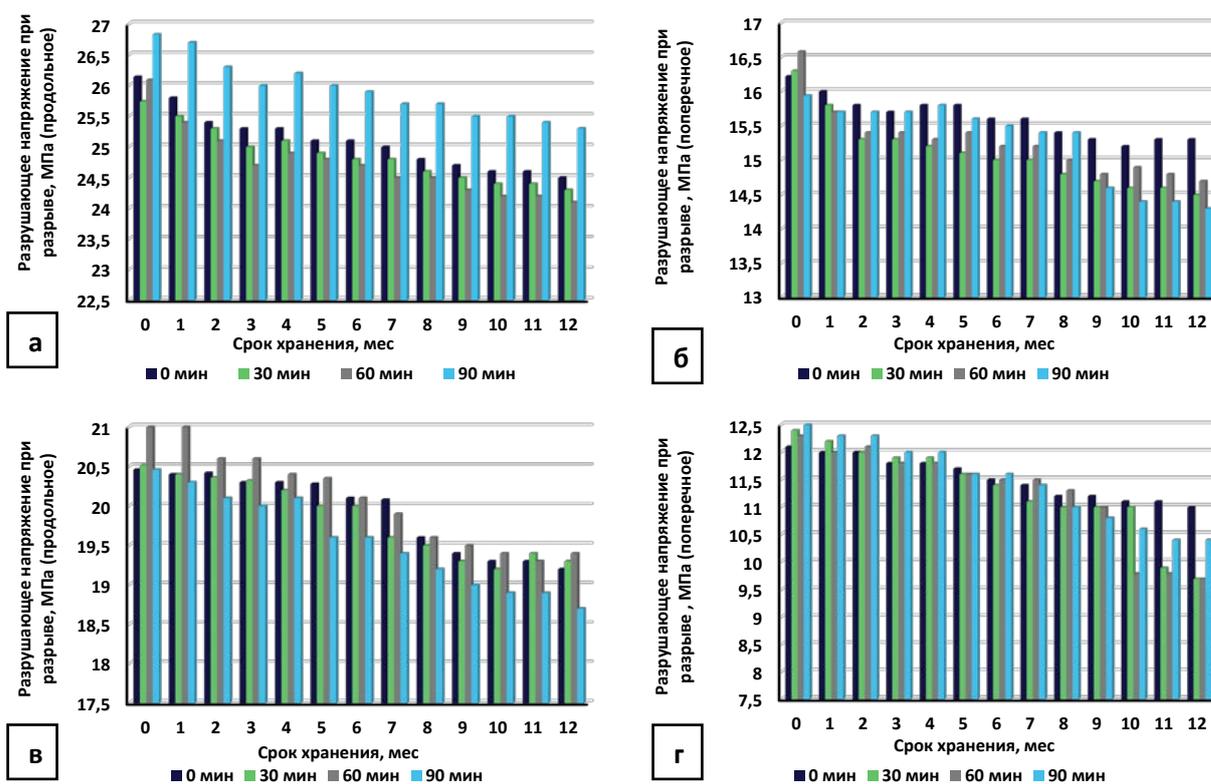


Рисунок 8 – Результаты физико-механических исследований УФ облученной LDPE пленки с содержанием CaCO_3 50,0% в продольном направлении (а), в поперечном направлении (б); с содержанием CaCO_3 70,0% в продольном направлении (в) и в поперечном направлении (г).

Из полученных результатов видно, что δ изменяется в зависимости от концентрации CaCO_3 и длительности воздействия, как в продольном, так и в поперечном направлениях.

УФ в выбранных режимах оказывает влияние на полимерные пленки, наполненные CaCO_3 . У образца пленки с концентрацией 50,0% масс. после 12 месяцев выдерживания в компосте наблюдается уменьшение показателя на 5,59%-7,36% в продольном направлении и 5,67%-11,34% в поперечном направлении в зависимости от выбранного режима облучения.

У образца пленки с концентрацией минерального наполнителя 70,0% масс. наблюдается аналогичная картина. После 12 месяцев выдерживания в компосте

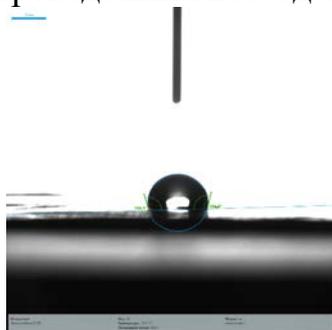
наблюдается уменьшение показателя на 5,95%-8,60% в продольном направлении и 6,0%-21,14% в поперечном направлении в зависимости от выбранного режима облучения.

Введение органических и неорганических компонентов в полимерные материалы, также, может оказывать влияние на стойкость РЕ к воздействию УФ излучения. Кроме того, изменение прочностных показателей зависит и от степени наполнения CaCO_3 . Прочностные показатели образцов с концентрацией карбоната кальция 70,0%масс., вырезанных в продольном направлении, в зависимости от выбранного режима облучения, показывают уменьшение δ на 30,00-50,00% по сравнению с образцами с концентрацией минерального наполнителя 50,0%масс. В поперечном направлении наблюдается аналогичная картина: уменьшение δ на 40-60% больше у образцов с более высокой концентрацией CaCO_3 .

Для оценки возможности деградации разработанных образцов во времени был предложен термин – Коэффициент деградации ($K_{дп}$) представляющий собой отношение значения прочностных показателей образца без хранения к значению показателя при хранении в течение определенного времени n .

Анализ полученных данных подтвердил выдвинутую рабочую гипотезу и показал, что при хранении образца в течение 12 месяцев $K_{д}$ увеличивается в среднем на 0,6-0,8 единиц. Также следует отметить что при увеличении времени воздействия УФ облучения возрастает значение коэффициента деградации, особенно явно это заметно у образцов LDPE с содержанием CaCO_3 70,0% масс, (до 27,0% по сравнению с контрольными образцами), что коррелирует с литературными данными по влиянию облучения на полимерные материалы класса полиолефинов, а также с полученными результатами оценки физико-механических характеристик разработанных минеральных пленок.

Для оценки адгезионной способности поверхностей модифицированных образцов, определяли КУС. Испытания проводили не менее чем в 10 последовательных измерений в двух параллелях. За расчетное значение КУС принимали среднее значение между левым и правым углом капли. Результаты проведенных исследований представлены на Рисунке 9.



Наименование показателя	Наименование образца			
	LDPE	LDPE + CaCO_3 50%	LDPE +ЭКБ	
			0,5%	2,0%
Средний КУ (ср) [°]	104,85	89,45	46,27	57,47
Средний КУ (л) [°]	104,83	89,53	46,25	57,47
Средний КУ (п) [°]	104,88	89,38	46,3	57,47
Средняя трехфазная точка [mm]	4,5	4,2	5	3,9
Средний диаметр [mm]	2,2	2,6	1,8	1,97
Средний объем [μL]	4,055	4,439	0,521	0,908

Рисунок 9 – Краевой угол смачивания поверхности LDPE пленки с различными модификаторами по отношению к дистиллированной воде.

Как видно из полученных результатов присутствие органических модификаторов на основе бетулина в концентрации в 0,5 % и 2,0% приводит к повышению гидрофильности поверхности, изменению ее адгезионных свойств. КУС таких материалов по сравнению с LDPE пленкой без модификаторов уменьшается до 46 - 57 град в зависимости от концентрации модификатора. Введение CaCO₃ в концентрации 50,0% практически не влияет на изменение КУС.

Значение КУС, адгезионные свойства поверхности и гидрофильность LDPE модифицированных пленок необходимо учитывать при выборе области применения пленок.

Четвертая глава посвящена изучению физико-механических, структурно-механических, органолептических и эксплуатационных свойств биоразлагаемой упаковки на основе PLA и PBAT в том числе модифицированных органическими компонентами крахмалом и бетулином. Представлены данные об оценке биodeградируемости полученных образцов модифицированных пленок в условиях лабораторного компостирования, в том числе с применением воздействия УФ излучения как инициатора процесса фотоокислительной деструкции.

Проведенный сравнительный анализ биоразлагаемых пленок показал, что максимальные значения δ ниже чем у LDPE контрольной пленки на 33,0%, ϵ , при этом, уменьшилось практически на 60,0%. Однако следует отметить что полученные прочностные характеристики сопоставимы с требованиями ГОСТ 10354-82 в части нормирования показателей для LDPE пищевой пленки марки Н.

δ пленки биоразлагаемой PLA/PBAT в продольном направлении меньше, чем у LDPE пленки на 32,59%, а в поперечном, увеличивается на 14,08%. Значения ϵ в продольном направлении увеличено на 8,8%, а в поперечном снижено на 59,40%. Полученные значения всех испытанных образцов полимерных пленок соответствуют требованиям нормативной документации (ГОСТ 10354-82 для LDPE марки Н). Оценку динамики изменения деструкции биоразлагаемой пленки на основе PLA/PBAT в компосте проводили по изменению прочностных показателей (δ , МПа и ϵ , %). Полученные результаты представлены на Рисунке 10.

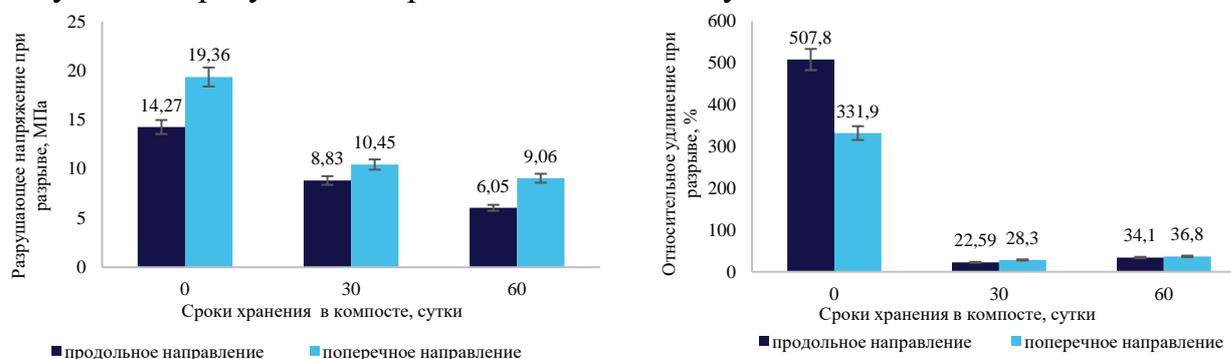


Рисунок 10 – Результаты изменений физико-механических показателей пленки биоразлагаемой на основе PLA/PBAT после компостирования

Значения δ материала на основе PLA/PBAT после 60 суток компостирования уменьшаются более чем на 50% по сравнению с контрольными образцами, а ϵ уменьшается практически в 2 раза. Сопоставив полученные результаты с данными об изменении массы материала можно резюмировать следующее: биоразлагаемые материалы на основе PLA/PBAT обладают хорошей способностью к ускоренной биodeградации.

Оценка коэффициента деградации рассчитанного по значению δ показывает, что материал существенно теряет свои прочностные характеристики, особенно после 60 суток хранения (Таблица 1).

Таблица 1 – Коэффициент деградации пленки PLA/PBAT после 60 суток хранения в компосте

Наименование образца	КД ₃₀	КД ₆₀
PLA/PBAT продольное	1,62	2,36
PLA/PBAT поперечное	1,85	2,14

Структурные особенности изменения поверхности опытных биоразлагаемых плёнок на основе PLA и PBAT представлены на Рисунке 11.

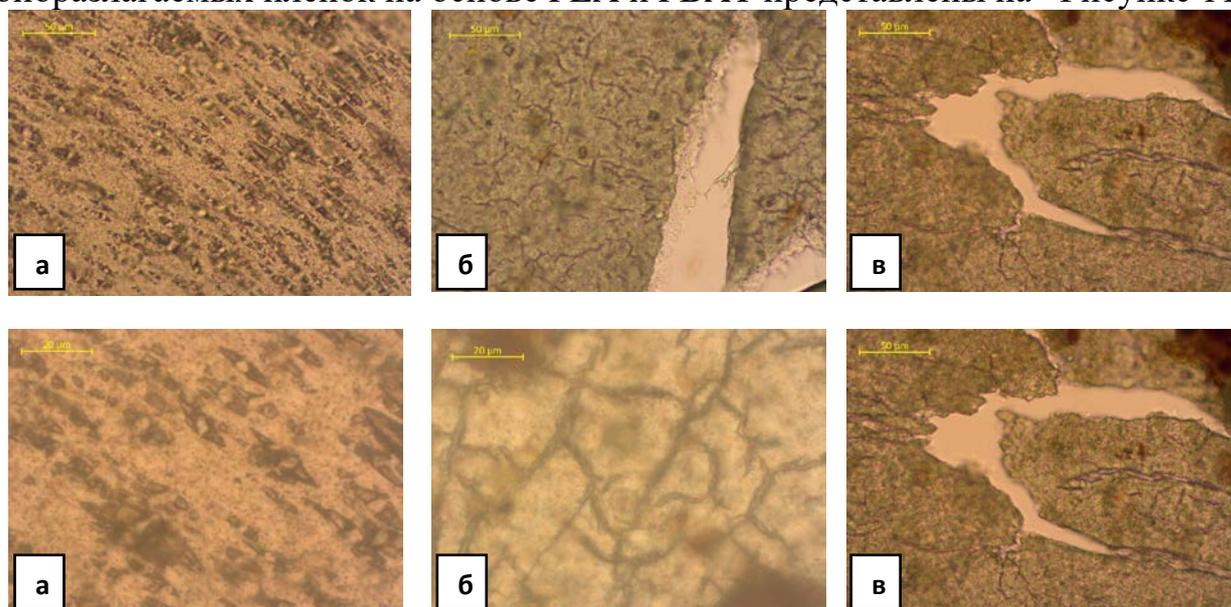


Рисунок 11 – Снимки поверхности материала PLA/PBAT до компостирования (а) после 180 дней (б) и после 365 дней (в).

На представленных снимках видно, что материал представляет собой смеси неоднородный компанд. Частицы PLA имеют кристаллическую структуру, частицы PBAT более дисперсные. Мелкие темные включения на снимках – это окрашивающий пигмент. На поверхности некомпостированного материала отсутствуют следы механической деструкции.

На поверхности материала после выдержки в компосте в течение 365 суток в большом количестве присутствуют трещины практически по всей поверхности. При большем увеличении заметно, что трещины уже прозрачные, а в некоторых местах сквозные. При сравнении образцов после 180 и 365 суток компостирования заметно существенное увеличение трещин

практически по всей поверхности материала. Сквозные отверстия наблюдаются даже при минимальных увеличениях.

Результаты спектроскопических испытаний с применением метода ИК Фурье МНПВО представлены на Рисунке 12.

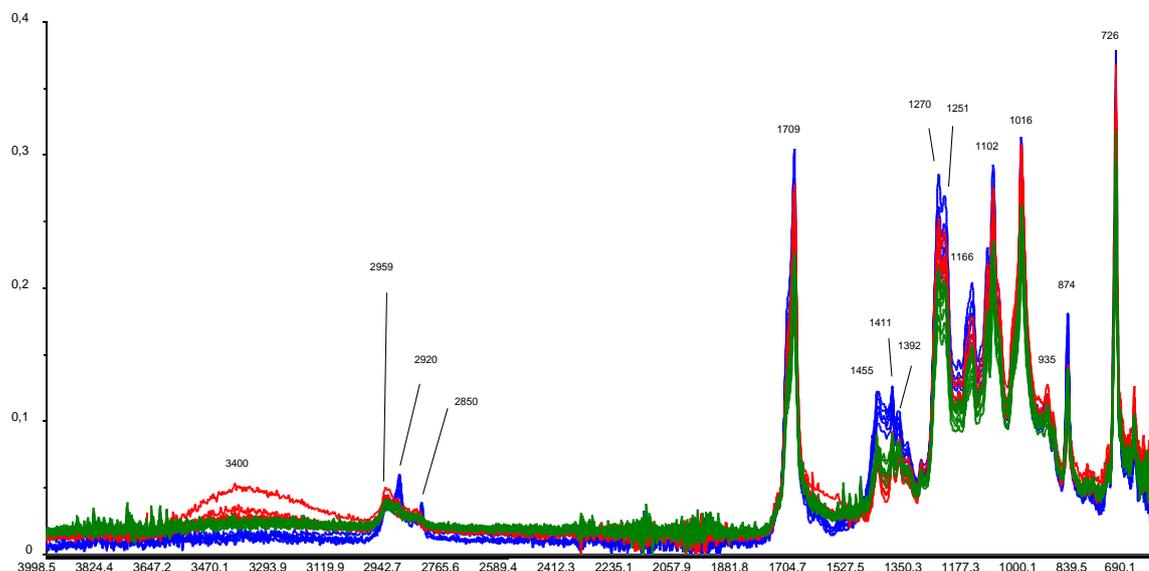


Рисунок 12 – ИК-спектры образцов композитов PLA/PBAT в диапазоне 4000-600 cm^{-1} (синий цвет – некомпостируемые; красный цвет – компост 180 суток; зеленый цвет – компост 365 суток).

Полосы поглощения при 2920 cm^{-1} и 2850 cm^{-1} размываются у образцов с компостированием и появляется полоса при 2959 cm^{-1} . Значительные различия в спектрах выявлены в диапазоне от 1460 до 1380 cm^{-1} , в зависимости от времени компостирования снижается интенсивность полос в этом диапазоне. Предположительно, происходит разрушение определенных связей при компостировании. Также, в зависимости от времени компостирования, снижается интенсивность узких пиков в диапазоне от 1300 до 1000 cm^{-1} и при 1709 cm^{-1} . На ИК – спектре компостируемого PLA/PBAT во всем диапазоне от 690 до 4000 cm^{-1} наблюдаются сильные отклонения от спектра контрольного образца, что свидетельствует о протекании деструктивных процессах в данном материале особенно после 365 суток компостного хранения.

После нахождения в компосте образцов биоразлагаемых материалов на основе PLA/PBAT, как уже было установлено раньше, поверхность сильно деформировалась. Представляло интерес оценить эти изменения более подробно с использованием SEM микроскопии. Результаты структурного анализа представлены на Рисунке 13.

Структурные исследования, проведенные перед закладкой на компостное хранение, показали, что с увеличением кратности изображения на поверхности заметны микротрещины, не уходящие в глубь материала и не влияющие на прочностные характеристики, что подтверждается результатами физико-механических испытаний. Существенных изменений в структуре

поверхностных слоев не наблюдается. Частицы PLA имеют кристаллическую структуру, частицы PBAT более дисперсные.

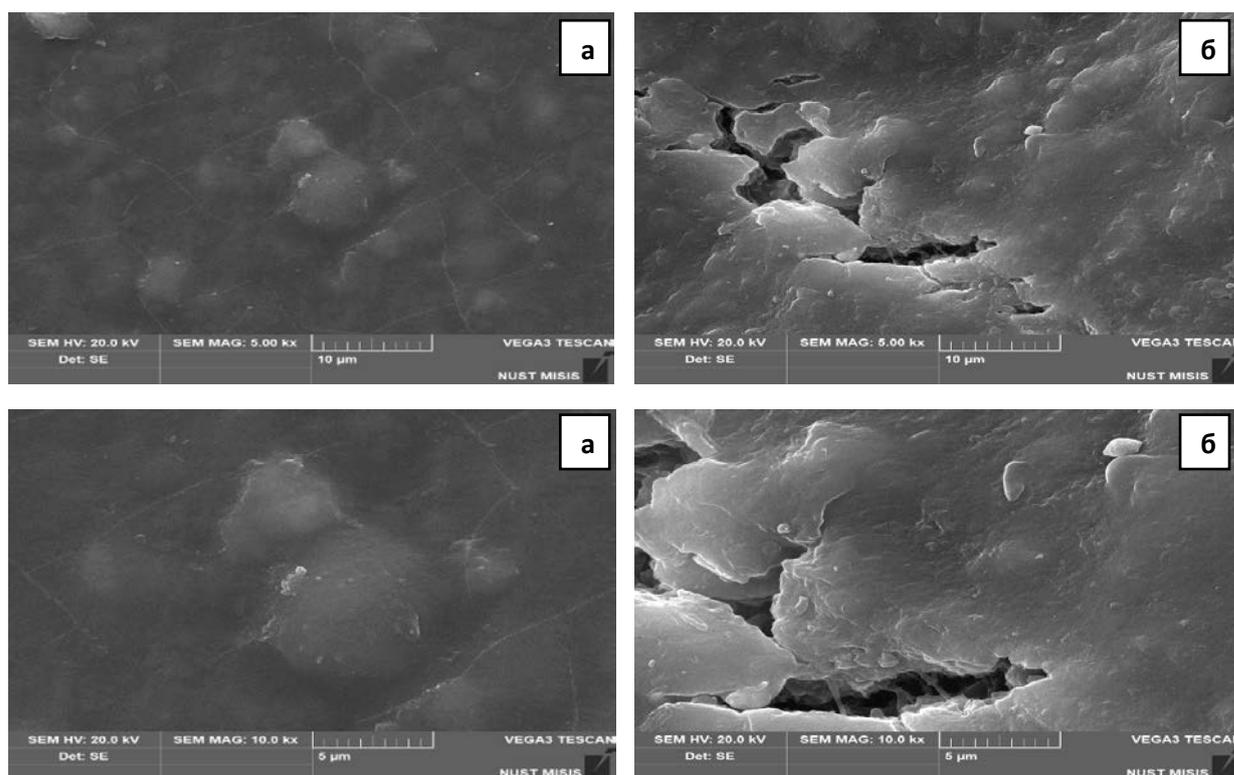


Рисунок 13 – Микроснимки поверхности материала PLA/PBAT перед закладкой на компостное хранение (а) и после 120 суток (б)

После нахождения образца PLA/PBAT в компосте в течение 120 суток, на его поверхности наблюдаются многочисленные трещины, проколы и отверстия, уходящие в глубь материала. Трещины имеют мицеллярную структуру, что объясняется разнородным составом материала. При увеличении кратности в местах трещин и разрывов материала заметны полупрозрачные области, свидетельствующие об уменьшении плотности материала, которое может быть вызвано несколькими причинами, среди которых, гипотетически, приоритетными являются протекание окислительных процессов и результат деятельности микроорганизмов.

Резюмируя результаты микроскопических и рентгеноструктурных исследований можно сделать заключение о том, что лабораторное модельное компостирование оказывает существенное влияние на структурно-механические характеристики образцов состава PLA/PBAT. На их поверхности присутствуют в большом количестве трещины и сквозные отверстия, а анализ ИК – спектров показал, что во всем диапазоне от 690 до 4000 см⁻¹ наблюдаются сильные отклонения от спектра контрольного образца, особенно явно выраженные в диапазоне от 1460 до 1380 см⁻¹, в зависимости от времени компостирования снижается интенсивность полос в этом диапазоне.

Результаты проведенных исследований изменения δ и ε модифицированного образца PLA/PBAT с крахмалом представлены на Рисунке 14.

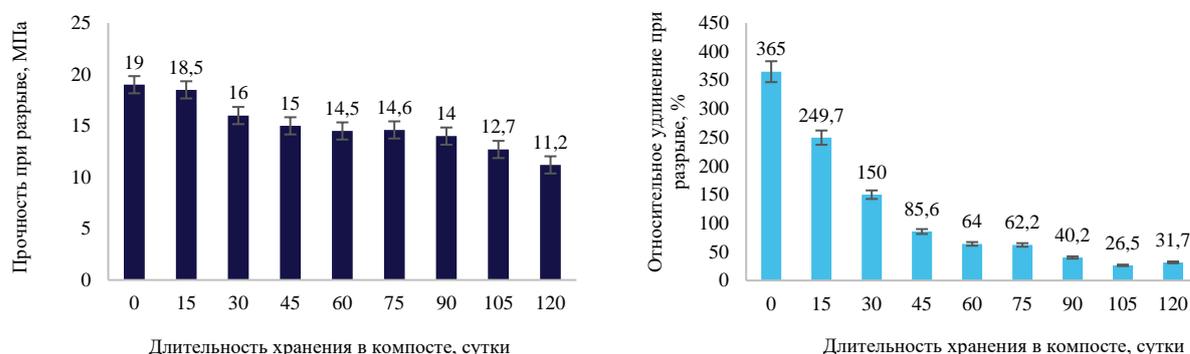


Рисунок 14 – Характер изменения физико-механических показателей биоразлагаемого материала PLA/PBAT+крахмал

Из полученных результатов видно, что δ изменяется у всех образцов, подвергнутых испытаниям. После 120 суток компостного хранения прочность материала уменьшилась более чем на 40%.

Анализ изменения ε показал, что введение наполнителей оказывает влияние на эластичность материала. В частности, для образцов биоразлагаемой пленки с крахмалом на протяжении всего срока хранения в компосте значения показателя находилось практически на одном уровне 650-700%, в то время как у образцов пленки без крахмала наблюдается резкое падение показателя более чем в 10 раз (с 365% до 31,7%).

Изменение массы образцов при компостном хранении, характеризующее протекание процесса деградации, представлено в Таблице 2. Таблица 2 – Результаты исследований изменения массы 1 м^2 исследуемых образцов PLA/PBAT+крахмал

Показатель	Фактические результаты: масса 1 м^2 , г		
	0 суток	60 суток	120 суток
Среднее значение массы, г	45,1	40,1	35,7
% падения массы	0	11,1	20,8

Масса 1 м^2 материала начинает интенсивно уменьшаться и к 120 суткам компостного хранения образца, модифицированного крахмалом PLA/PBAT и составляет более 20,0%. Перед проведением измерений образцы пленки выдерживали в сушильном шкафу при температуре 60°C в течение 2 часов.

Для определения возможности образования сварных соединений при формировании упаковки, проведены исследования прочности сварных швов опытных образцов биоразлагаемой пленки PLA/PBAT с крахмалом.

Исследования изменения прочности сварных швов проводили в течение всего срока компостного хранения с интервалом 15 суток. Результаты исследований представлены на Рисунке 15.

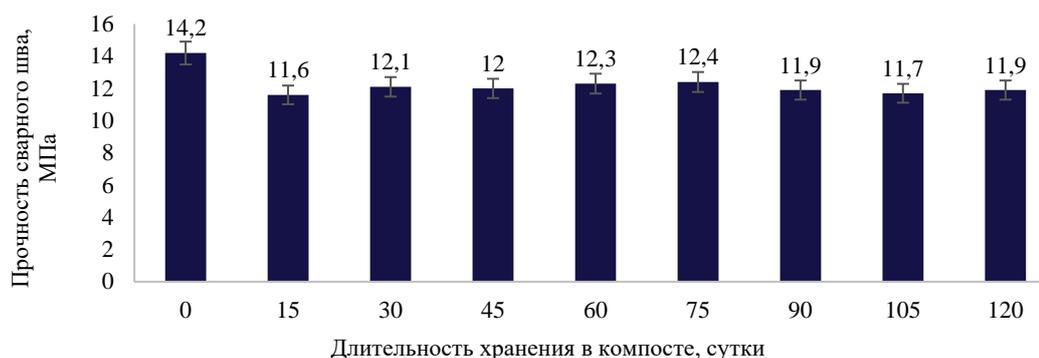


Рисунок 15 – Результаты исследований изменения прочности сварного шва материалов PLA/PBAT+крахмал при компостировании в течение 120 суток

Анализ представленных на Рисунке 15 данных показывает, что прочность сварных швов уменьшается на 16,2% по сравнению с некомпостируемым образцом. Визуальная оценка образцов после проведения испытаний показывает следующую закономерность, более 80% разрушений материала происходит не по шву, а по поверхности самого материала, т.е. наблюдается когезионное разрушение, что свидетельствует о том, что прочность полученного сварного соединения выше чем прочность самого материала.

Таблица 3 – Коэффициент деградации для пленки PLA/PBAT, рассчитанный по значению прочности при разрыве материала

Наименование образца	Кд ₁₅	Кд ₃₀	Кд ₄₅	Кд ₆₀	Кд ₇₅	Кд ₉₀	Кд ₁₀₅	Кд ₁₂₀
PLA/PBAT+ Крахмал	1,03	1,19	1,27	1,31	1,30	1,36	1,49	1,69

Представленные в таблице 3 значения КД также свидетельствуют о необратимых деструктивных процессах, протекающих у опытных образцов при компостном хранении. После 30 дней выдержки наблюдается увеличение коэффициента на 20%, к концу срока его рост составляет 69%. При оценке эффективности за пороговое значение было принято значение более 1,25, после достижения которого начинается необратимый процесс деструкции.

Протекание деструктивных процессов у модифицированных крахмалом биоразлагаемых образцов PLA/PBAT также подтверждается результатами проведенного микроскопического SEM анализа. Микроснимки поверхности представлены на Рисунке 16.

Структурные исследования, проведенные перед закладкой на компостное хранение образцов биоразлагаемой пленки PLA/PBAT с крахмалом, показали, что с увеличением кратности изображения на поверхности не заметны микроцарапины, которые могут изначально влиять на прочностные показатели, что подтверждается результатами физико-механических испытаний. Кроме того, при большом увеличении видна неоднородность, что свидетельствует о разнородности полимеров, входящих в состав материала.

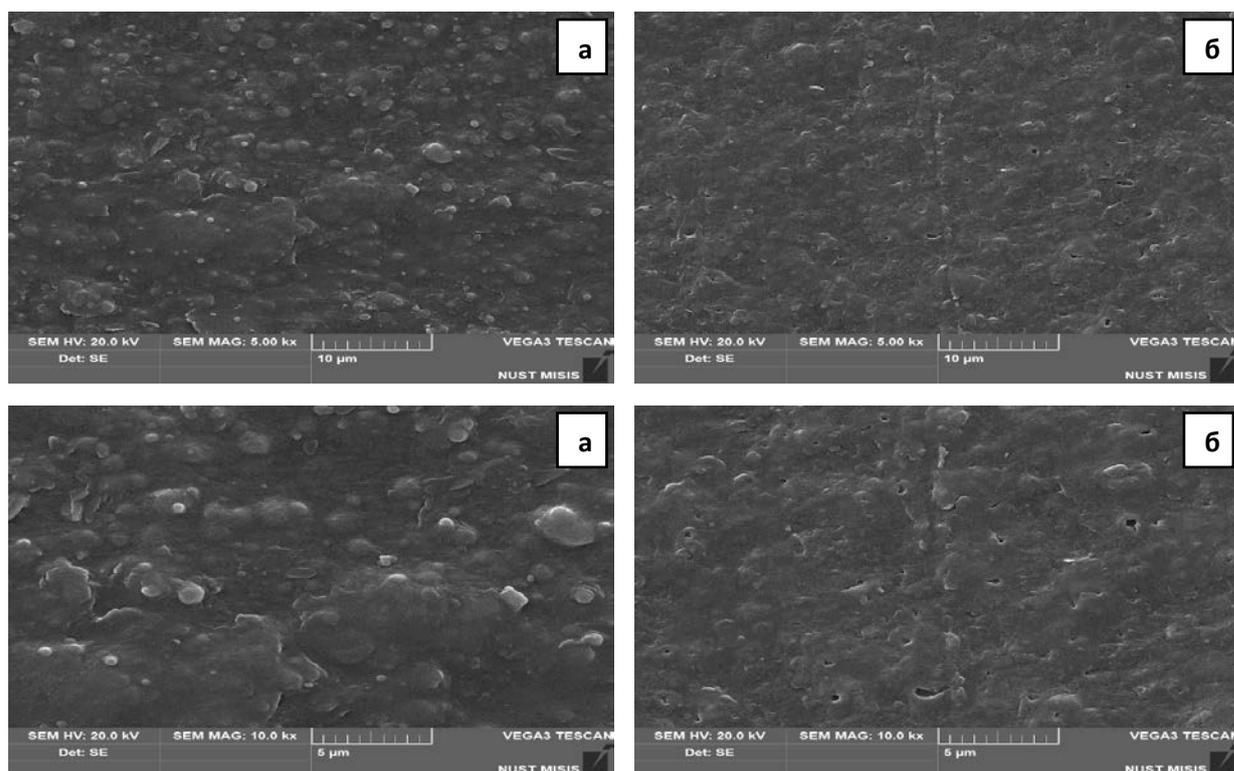


Рисунок 16 – Микроснимки поверхности материала PLA/РВАТ с крахмалом перед закладкой на компостное хранение (а) и после 120 суток (б)

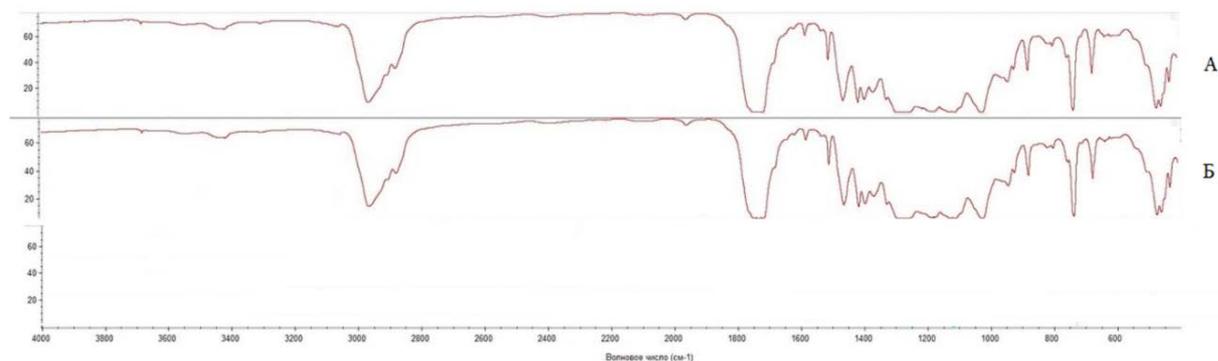


Рисунок 17 – ИК-спектр волнового поглощения веществами, содержащимися в нулевом контрольном образце (А) и в образце после компостирования (Б)

Результаты спектроскопических испытаний образца пленки состава PLA/РВАТ с крахмалом, проведенные методом ИК Фурье МНПВО в интервале $400-4000\text{ см}^{-1}$ представлены на Рисунке 17. Полосы поглощения в ИК области спектра $400-4000\text{ см}^{-1}$ у образцов биоразлагаемой модифицированной пленки характерны для валентных и деформационных колебаний группы $-\text{CH}_2-$ в диапазоне $2840-3000\text{ см}^{-1}$ и 1450 см^{-1} . Валентная группа $-\text{C}-\text{C}-$ групп проявляется в области 875 см^{-1} . Деформационные $-\text{CH}_3$ группы ($1380-1420\text{ см}^{-1}$), а валентные колебания $-\text{CH}-$ группы отмечается (875 см^{-1}). Валентные колебания бензольного кольца наблюдается в области 1500 см^{-1} . На ИК – спектре компостируемой биоразлагаемой пленки PLA/РВАТ с крахмалом, во всем диапазоне от 690 до 4000 см^{-1} наблюдаются сильные

отклонения от спектра контрольного образца, что свидетельствует о протекании деструктивных процессов после 120 суток хранения в компосте.

Образцы биоразлагаемой пленки на основе PLA/PBAT модифицированной бетулином с концентрацией активного вещества 80% с применением валкового оборудования с последующим формованием тонких пластин. Его концентрация в пленке PLA/PBAT составила составляла 0,5% и 2,0% (Рисунок 18).

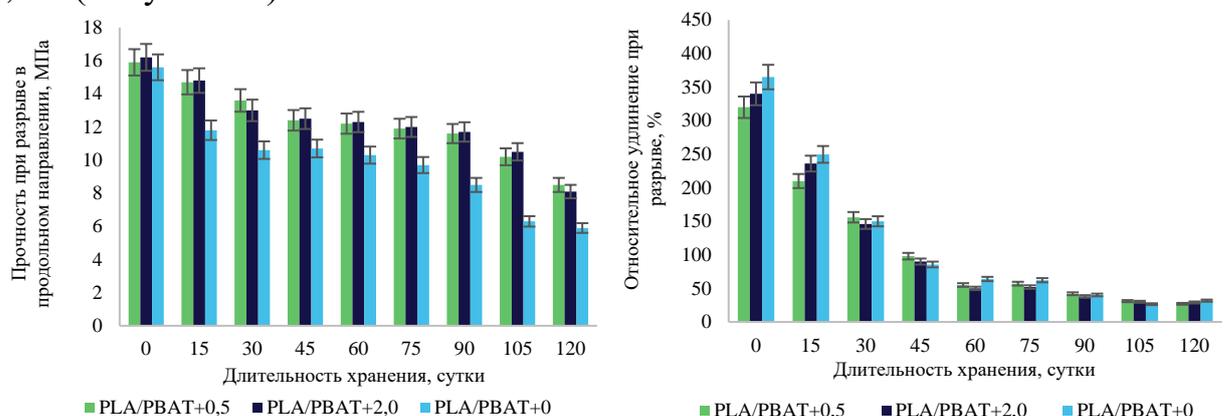


Рисунок. 18 – Результаты исследований физико-механических показателей биоразлагаемой пленки PLA/PBAT модифицированной бетулином 0,5масс. и 2,0% масс. после выдержки в компосте в течение 120 суток

У образца биоразлагаемой пленки PLA/PBAT после 120 суток хранения в компосте наблюдается уменьшение δ на 62,2% в продольном направлении, а у образца состав PLA/PBAT с концентрацией бетулина добавки 0,5% - 50,0% и концентрацией 2,0% - 46,5% соответственно. Характер изменения ϵ модифицированных пленок аналогичен немодифицированным образцам (уменьшение с 340% до 29%).

Анализ рассчитанного Кд показал, что введение бетулина оказывает влияние на скорость деструкции материала. опытные образцы без антимикробной добавки в диапазоне компостного хранения от 15 до 45 суток показали довольно низкое протекание деструктивных процессов, однако после 60 суток процесс пошел более интенсивно и к 120 суткам хранения коэффициент приблизился к 2,0. Исходя их полученных данных можно констатировать, что введение бетулина, снижает скорость протекания деструктивных процессов на начальных сроках компостирования, затем, процессы протекают аналогично немодифицированным образцам.

Оценка структуры модифицированных биоразлагаемых материалов PLA/PBAT также проводилась SEM, по результатам которой было установлено что образец представляет собой неоднородный смесевой компанд. Частицы PLA имеют кристаллическую структуру, частицы PBAT более дисперсные.

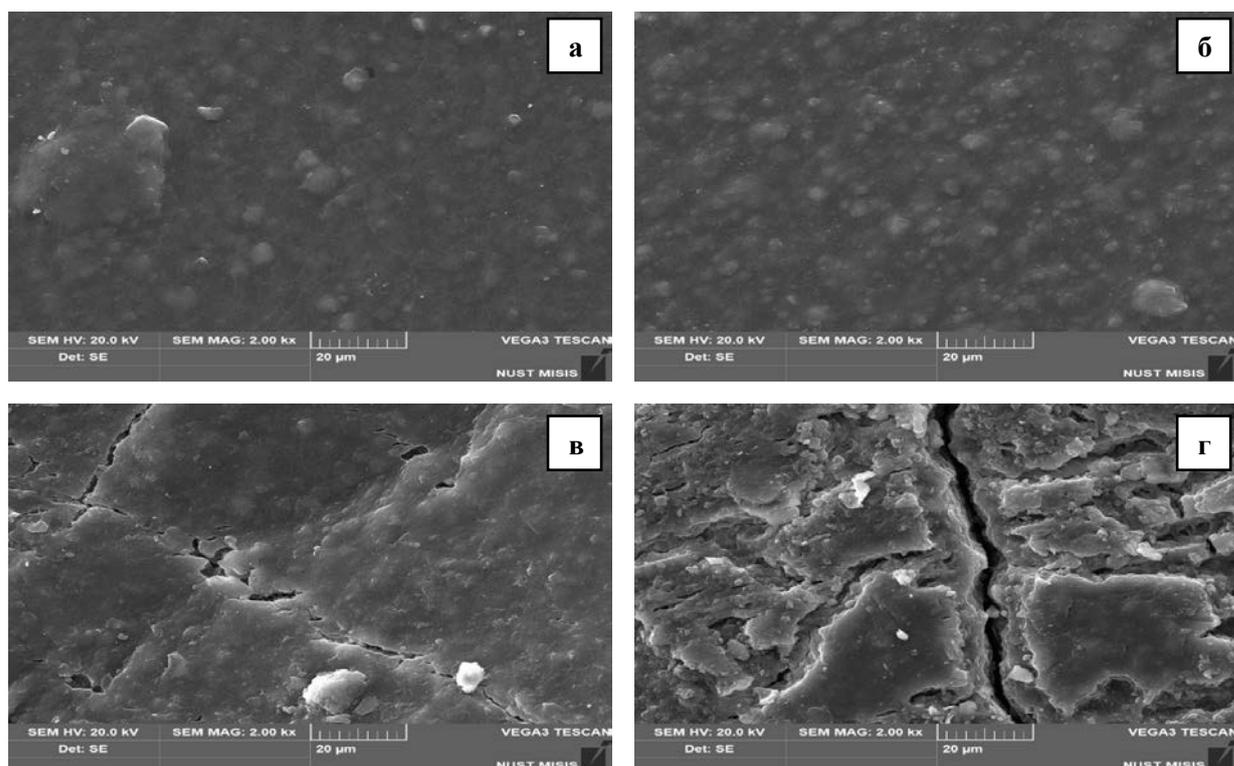


Рисунок 19 – Микроснимки поверхности биоразлагаемого материала PLA/PBAT модифицированного бетулином в концентрации 2,0% перед помещением в компост (а и б) и после 120 суток хранения (в и г)

После 120 суток хранения в компосте на поверхности материала наблюдаются многочисленные трещины, уходящие в глубь материала. Трещины имеют мицеллярную структуру, что объясняется разнородным составом материала. При сравнении снимков поверхности материала с образцами биоразлагаемых пленок состава PLA/PBAT без бетулина заметно, что деструкция материала протекает менее интенсивно и характер поверхностных деформаций отличается от немодифицированных материалов. На Рисунке 19 «в» и «г» заметны каналы и углубления. Вероятно, они могли образоваться после разрушения внесённого модификатора бетулина.

Оценку влияния УФ-излучения на динамику протекания деструктивных процессов биоразлагаемой пленки на основе PLA/PBAT в компосте проводили по изменению физико-механических показателей (δ , МПа и ϵ , %). Результаты представлены на Рисунке 20.

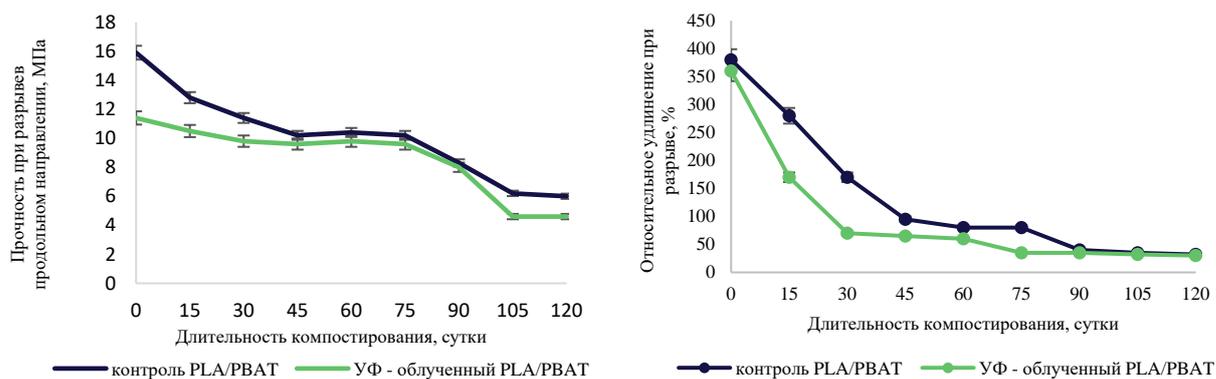


Рисунок 20 – Динамика изменения физико-механических показателей пленки PLA/PBAT при компостном хранении в течение 120 суток

Анализ полученных результатов показал, что δ у облученных и необлученных материалов уменьшается за 120 суток компостного хранения на 60,4 - 62,3% по сравнению с начальным контрольным измерением перед закладкой на хранение. ϵ облученных и необлученных материалов меняется очень резко. Уже к 30 суткам хранения происходит уменьшение показателя в 2,2 раза у необлученной пленки и в 5,4 раза у образцов после облучения. Как видно из представленных на рисунке данных, после резкого падения ϵ наблюдается некоторая стабилизация. Под воздействием почвенных микроорганизмов при компостировании процесс разрушения макромолекул PLA протекает с образованием цепочек одинакового размера. Начиная с 45 суток компостирования, наблюдается так называемое равновесие, при котором разложение материала протекает относительно медленно. Это объясняется разрывами цепей PLA, активированными фотоокислением и, как следствие, падением прочностных характеристик. Прочностные характеристики сварных соединений изменяются по аналогичной с прочностью материала закономерностью. После 60 суток компостного хранения у всех образцов наблюдается падение прочности сварного шва и к концу 120 суток оно составляет 2,6 раза для необлученных образцов и 8,5 раз для образцов после обработки УФ излучением. На 90 сутки у облученного образца PLA/PBAT наблюдали резкое падение показателя прочности сварного шва, что коррелирует с полученными данными по прочности материала. В таблице 4 представлены коэффициенты деградации, рассчитанные через прочность при разрыве биоразлагаемой пленки PLA/PBAT до и после УФ облучения.

Таблица 4 – Коэффициент деградации биоразлагаемой пленки PLA/PBAT до и после облучения

название	Кд15	Кд30	Кд45	Кд60	Кд75	Кд90	Кд105	Кд120
PLA/PBAT	1,24	1,39	1,56	1,53	1,56	1,92	2,56	2,65
PLA/PBAT +УФ	1,09	1,30	1,19	1,16	1,19	1,43	2,48	2,48

Анализ полученных результатов показал, что образцы пленок PLA/PBAT неподверженные облучению теряют прочностные характеристики более интенсивно, что отмечается ростом Кд. Облученные образцы при

нахождении в компосте обладают сравнительно меньшей скоростью деградации, но, при этом, базовые показатели прочности материала по сравнению с необлученным материалом заметно ниже (на 30,0%). Полученные результаты хорошо коррелируют с полученными нами данными, а также, с литературными источниками. Следует отметить что к концу компостного хранения Кд у облучённых и необлученных материалов выравнивается и составляет 2,48 и 2,65 соответственно.

Оценка изменения структуры биоразлагаемых материалов PLA/PBAT при воздействии УФ излучения и последующего компотного хранения проведены с помощью электронной микроскопии и представлены на Рисунке 21.

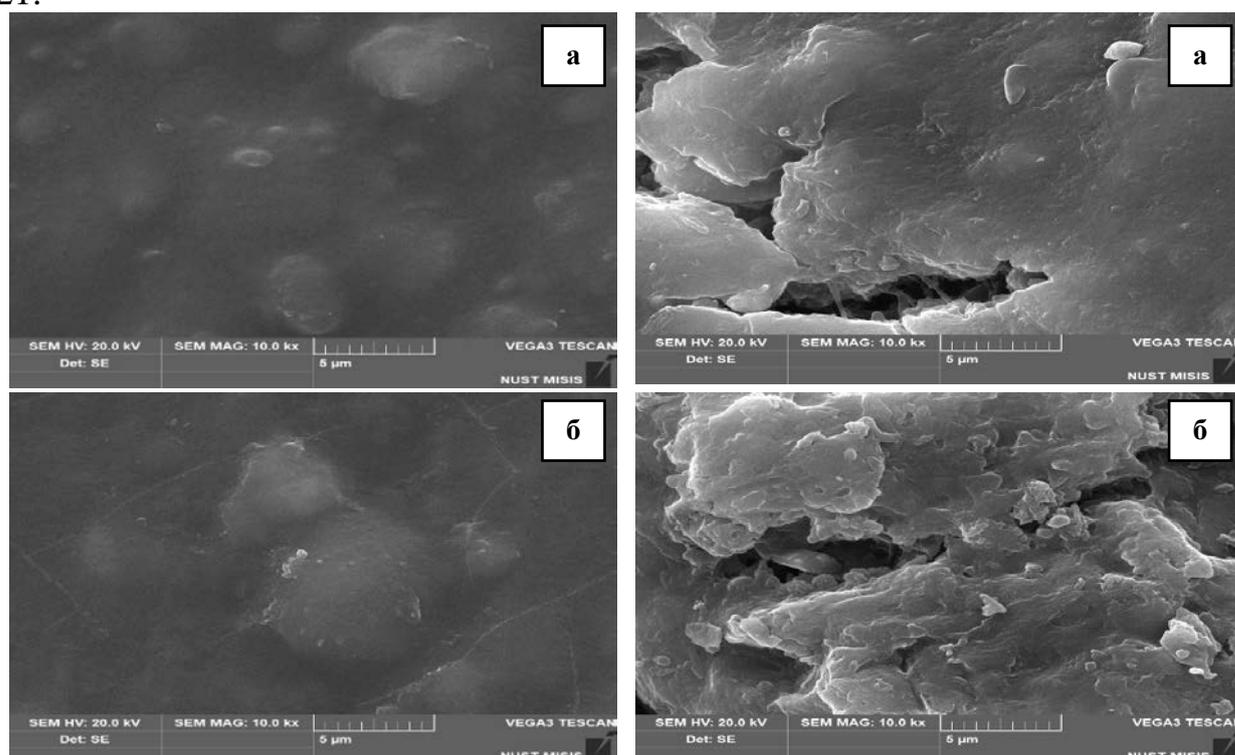


Рисунок 21 – Результаты сканирующей электронной микроскопии поверхности облученной УФ пленки PLA/PBAT до помещения в компост (а) и после 120 суток хранения (б)

Анализ поверхности материала свидетельствует о значительных изменениях в его структуре после хранения в компосте в течение 120 суток.

На поверхности образцов пленки подверженной УФ облучению после 120 суток компостного хранения обнаружены многочисленные трещины, уходящие вглубь материала. Трещины имеют мицеллярную структуру, что объясняется разнородным составом материала. PLA начинает активно разрушаться при повышенной влажности и температуре более 50°C, тогда как PBAT начинает разрушаться при более низких температурах. Входящие в состав аморфные и кристаллические агломераты PLA и PBAT имеют различную плотность, что в свою очередь влияет на скорость протекания деструктивных процессов. Большие скопления аморфных групп разрушаются более интенсивно с образованием рытвин и глубоких трещин. При увеличении

в 5000 раз на поверхности заметны углубления и рытвины, которые как раз и свидетельствуют о различной скорости разрушения компонентов, входящих в состав пленки.

УФ облучение материала перед помещением в грунт приводит к ускорению процесса деградации биоразлагаемой пленки PLA/PBAT по сравнению с необлученным материалом: на 23,3% быстрее уменьшается прочность при разрыве материала и на 70,0% уменьшается прочность сварных швов.

Образцы пленки LDPE, LDPE модифицированной CaCO_3 , PLA/PBAT, PLA/PBAT окрашенный TiO_2 облучали на экспериментальной установке в течение 20 суток. Результаты сравнительных исследований после их искусственного состаривания представлены на Рисунке 22.

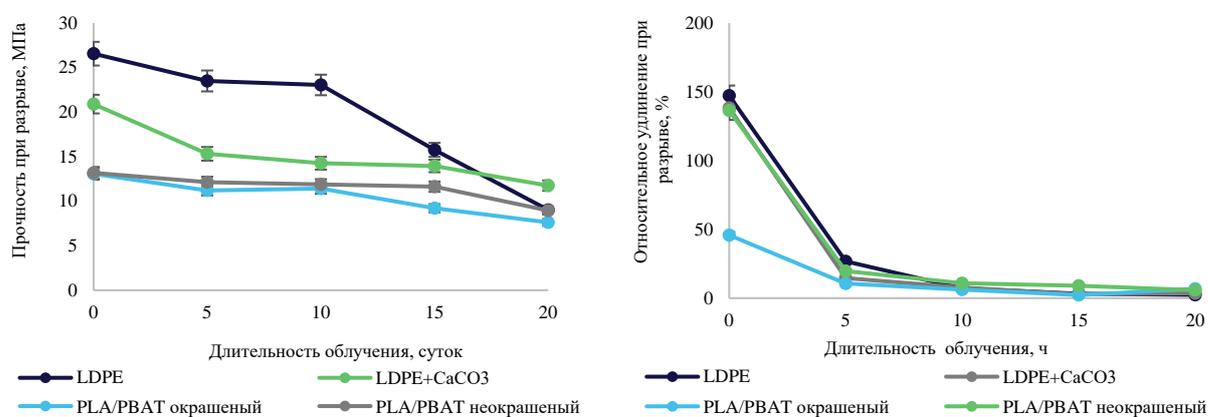


Рисунок 22 – Результаты исследований изменения физико-механических характеристик пленок на основе PLA/PBAT и LDPE после их облучения в течение 20 суток

Проведенная сравнительная оценка изменения физико-механических показателей пленок LDPE и PLA/PBAT при их искусственном состаривании с применением УФ – излучения от ртутной бактерицидной лампы постоянного горения при длине волны 247 нм показала, что в течение 20 суток облучения у всех исследованных синтетических и биоразлагаемых материалов происходит резкое падение ϵ на 78,2% и 87,1% в зависимости от материала, δ изменяется более плавно на 24,3 - 46,3 %. Следует отметить, что уменьшение показателя ϵ наблюдается уже на 5 сутки облучения, в дальнейшем его падение происходит плавно. Показано, что УФ излучение даже в небольших дозах приводит к кристаллизации макромолекул цепей полимерных материалов что негативно сказывается на его эластичности.

Проведенные структурные исследования синтетических и биоразлагаемых материалов на основе LDPE, PLA и PBAT после воздействия на их поверхность УФ излучения в виде микрофотографий представлены на Рисунках 23-26.

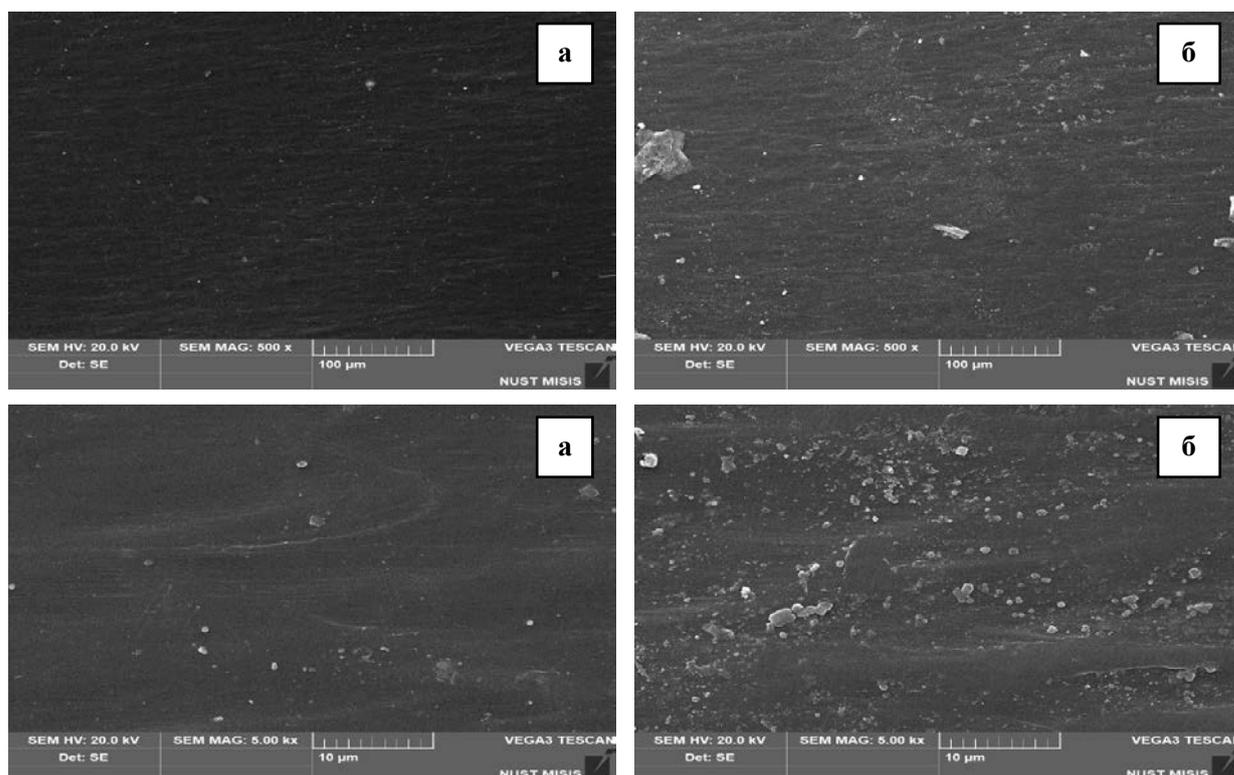


Рисунок 23 – Микроснимки пленки LDPE: до УФ - облучения (а); после УФ - облучения (б)

На представленных на Рисунке 23 данных на поверхности пленки LDPE до облучения отсутствуют механические дефекты.

С увеличением кратности изображения на поверхности заметны микрочастицы посторонних включений не влияющие на прочностные характеристики. Существенных изменений в структуре поверхностных слоев не наблюдается. Микротрещины, уходящие в глубь материала и проколы не обнаружены. После облучения материала в течение 20 суток на поверхности заметно увеличение неоднородных частиц, которое может быть связано с изменением структуры PE с аморфной на кристаллическую при воздействии УФ-облучения. При увеличении кратности изображений не заметны трещины, проколы, расслоение материала также не наблюдается.

На Рисунке 24 заметно, что образец LDPE модифицированный CaCO_3 в концентрации 50,0% представляет собой пленку с достаточно равномерным распределением частиц наполнителя по всей массе полимера. При увеличении кратности изображения на поверхности заметны микрочастицы посторонних включений и неглубокие микротрещины и углубления, это может быть связано с выпадением частиц CaCO_3 из основной массы полимера. После облучения материала в течение 20 суток так же, как и на поверхности образца LDPE обнаружено увеличение неоднородных частиц. Структурные исследования, проведенные перед облучением, показали, что с увеличением кратности изображения на поверхности не заметны микротрещины, влияющие на прочностные характеристики, что подтверждается результатами физико-механических испытаний. Существенных изменений в структуре поверхностных слоев не наблюдается. Следует отметить, что при сравнении

образцов LDPE с CaCO_3 и пленкой PLA/PBAT заметны различия формы и внешнего вида включений.

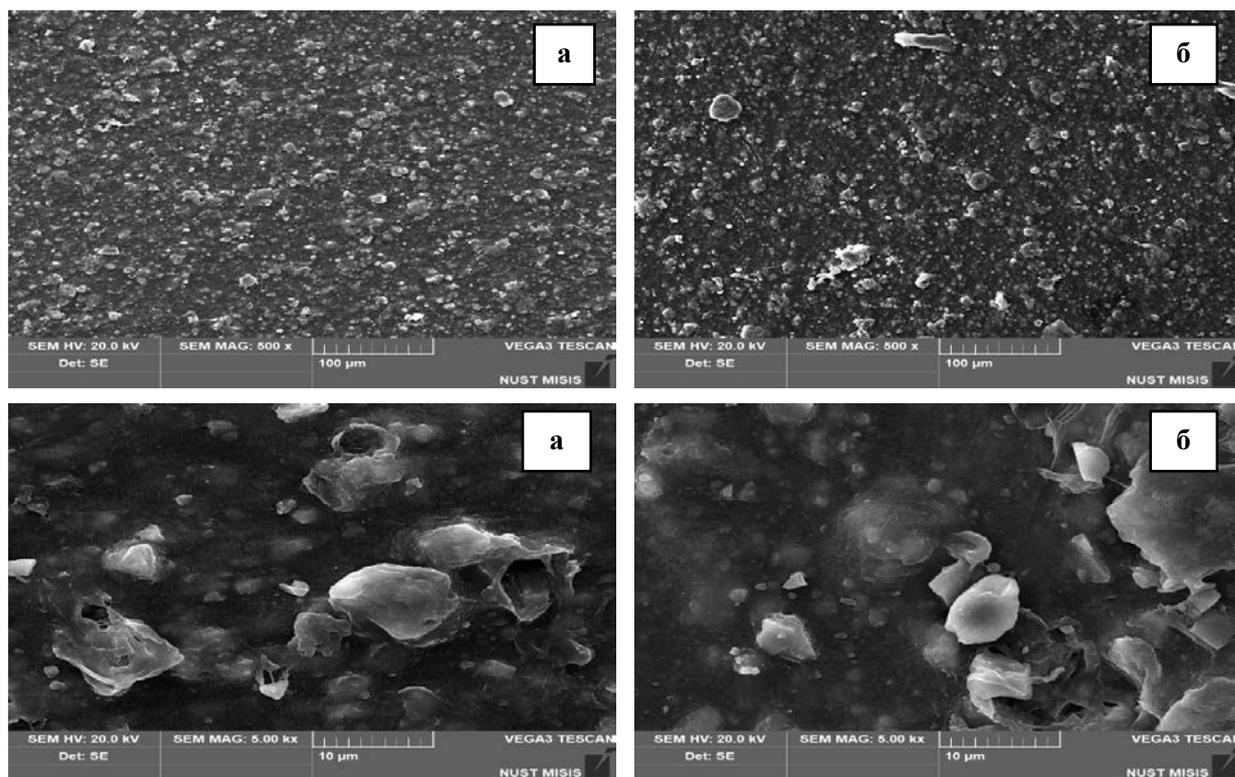


Рисунок 24 – Снимки SEM поверхности пленки LDPE модифицированной CaCO_3 50,0%: до УФ облучения (а); после УФ облучения (б)

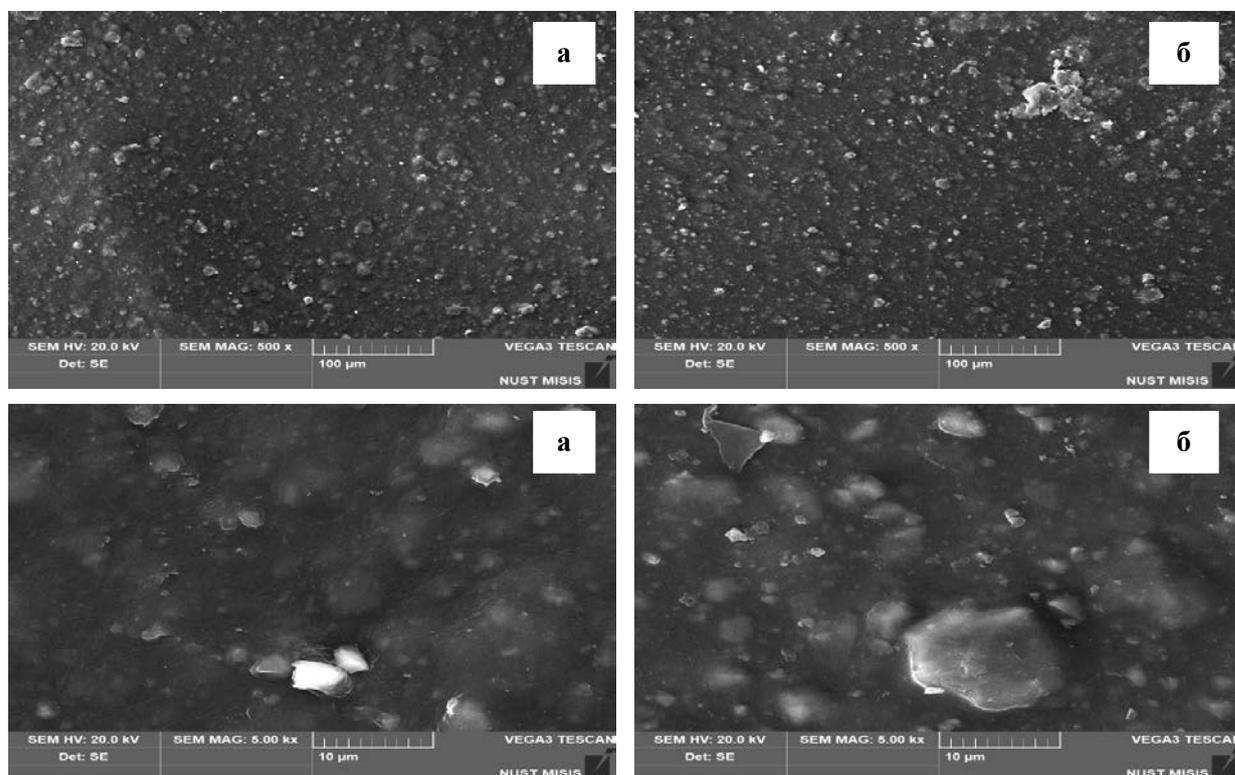


Рисунок 25 Снимки SEM поверхности пленки биоразлагаемой пленки PLA/PBAT: до УФ облучения (а); после УФ облучения (б)

Частицы карбоната кальция имеют ровные края и острые кромки в отличие от частиц РВАТ (Рисунок 25). После облучения образцов в течение 20 суток на поверхности заметно увеличение количества частиц на поверхности материала, а также видны полупрозрачные области, которые могут свидетельствовать об уменьшении плотности материала.

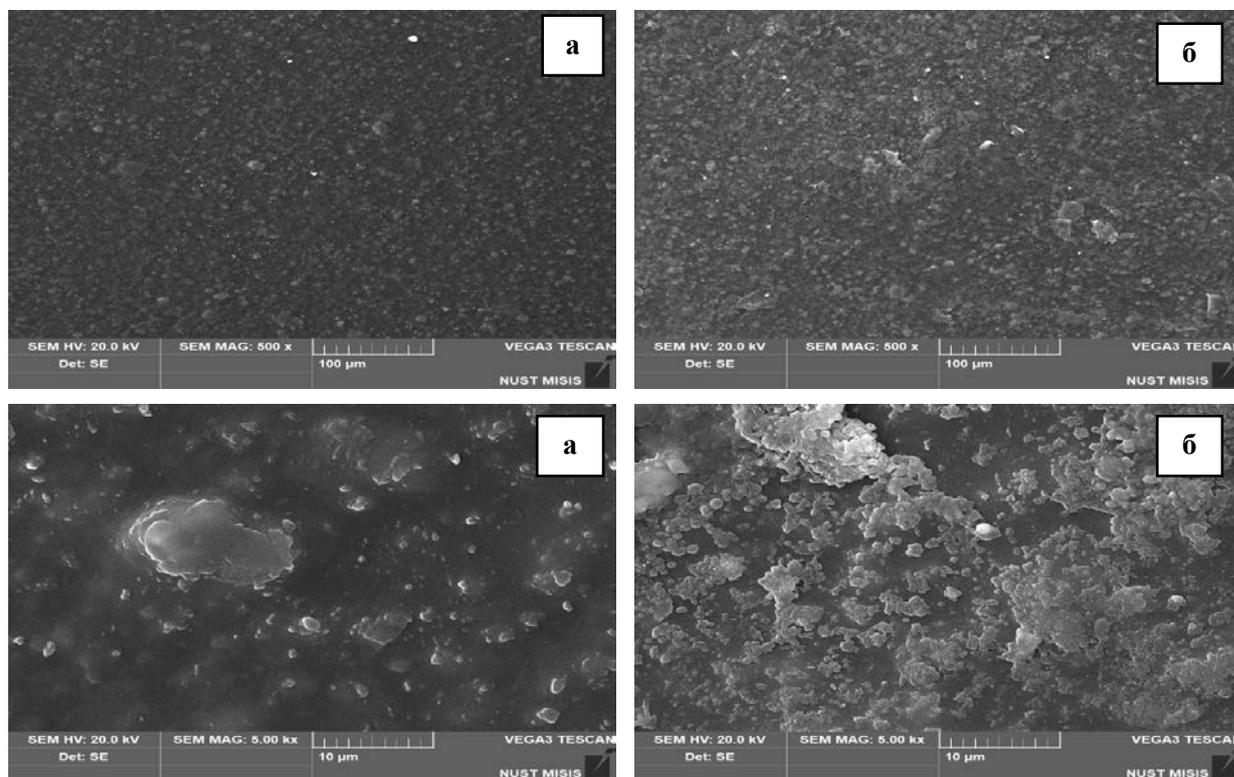
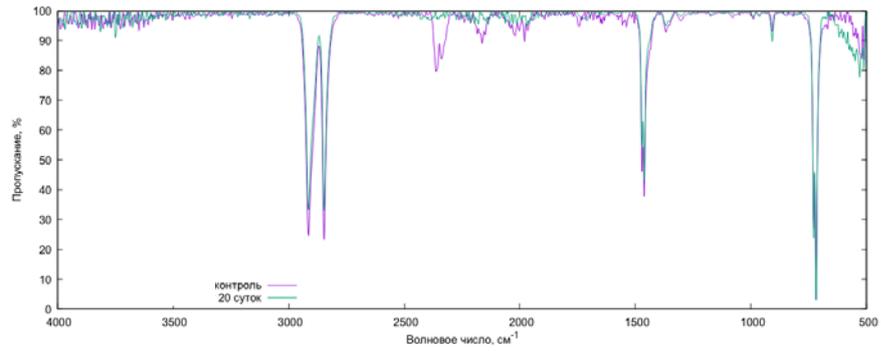


Рисунок 26 – Снимки SEM поверхности пленки биоразлагаемой пленки PLA/PBAT с TiO_2 до УФ облучения (а); после УФ облучения (б)

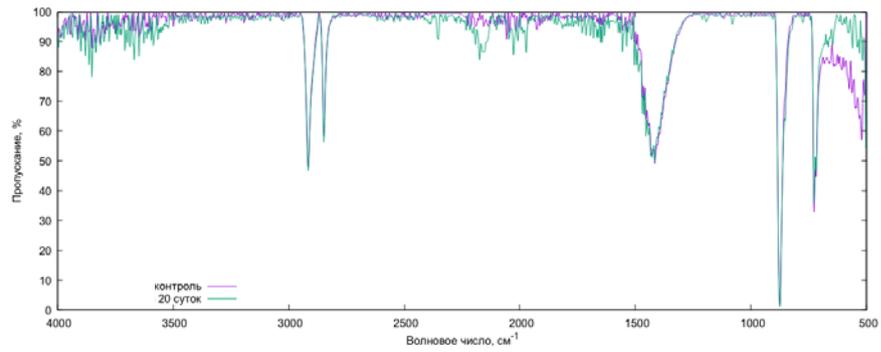
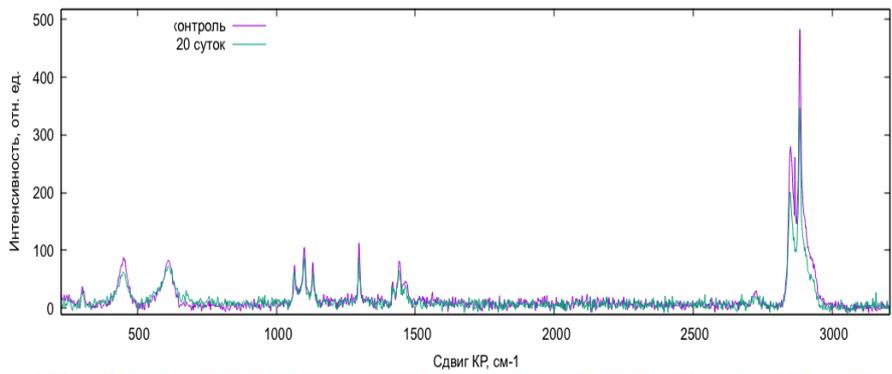
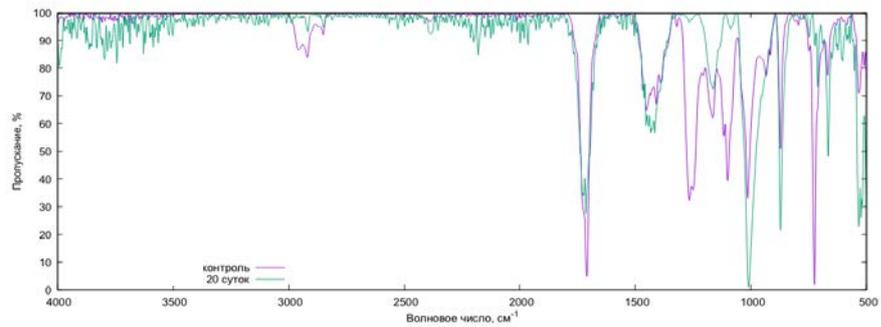
Структурные исследования, проведенные перед облучением пленки PLA/PBAT с TiO_2 (Рисунок 26) показали отсутствие визуальных дефектов на поверхности пленки. Структура анализируемого образца имеет аналогичный предыдущему внешний вид, в том числе и при увеличении кратности изображения. Однако после облучения образцов в течение 20 суток на поверхности заметны существенные деформации поверхности, видны рытвины, углубления, заметно перераспределение частиц, приводящее к расслоению и деформации материала.

Результаты спектроскопических испытаний образцов синтетических и биоразлагаемых материалов до и после облучения с применением метода ИК Фурье МНПВО в интервале $500\text{-}4000\text{ см}^{-1}$ представлены на Рисунке 27.

Отмечено существенно снижение интенсивность линии маятниковых колебаний метиленовых групп, что может говорить о снижении количества этих групп в образце или о том, что данный режим колебаний стал сильно затруднен в результате какого-либо изменения/рекристаллизации/деградации материала. Также сильно снижается интенсивность линий групп O-C-C и C-C-O, всего указывает на разрыв данных связей.



LDPE

LDPE+ CaCO₃LDPE+ CaCO₃

PLA/PBAT

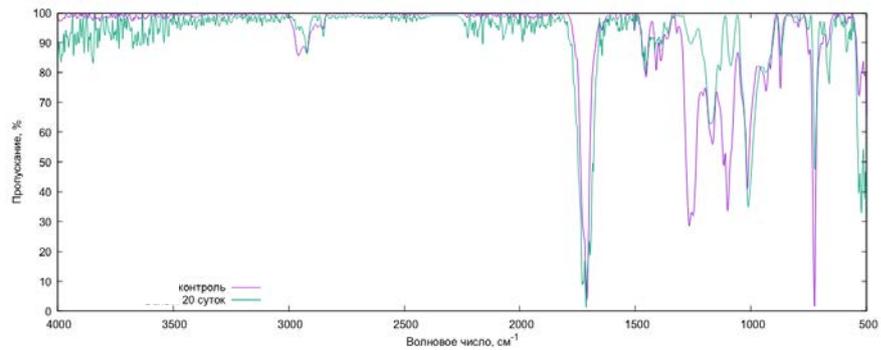
PLA/PBAT
+ TiO₂

Рисунок 27 – ИК Спектр (МНПВО) облученных образцов

Установлено, что в инфракрасной области спектра от 500 до 4000 см^{-1} , интенсивные валентным колебаниям $-\text{CH}_2-$ групп наблюдаются в диапазоне 2840-3000 см^{-1} и деформационным колебаниям в 1450 см^{-1} соответственно. Валентная группа $-\text{C}-\text{C}-$ групп проявляется в области 875 см^{-1} . Деформационные $-\text{CH}_3$ группы (1380-1420 см^{-1}), а валентные колебания $-\text{CH}-$ группы отмечается (875 см^{-1}).

Полученные данные или результаты комплексных исследований свидетельствуют об ускоренной деградации полученных образцов упаковочных материалов.

В пятой главе рассмотрены вопросы оценки безопасности разработанных упаковочных материалов, поскольку данный показатель является определяющим при решении вопроса возможности их использования в контакте с продуктами питания.

При проведении санитарно-химических исследований и их интерпретации имеет место фактор неопределенности, поскольку условия миграции не известны либо не контролируются и не учитываются, хотя играют большую роль. Исследования миграции летучих органических соединений проводили на шести модельных средах: раствор молочной кислоты 0,3%, раствор молочной кислоты 3,0%, дистиллированная вода. Проведенные исследования показали, что все образцы, модифицированные бетулином в концентрации от 0 до 1,0% не вызывают миграцию вредных веществ в значениях, превышающих нормы предельно допустимых концентраций (ДКМ, $\text{мг}/\text{дм}^3$) в водные вытяжки. Внешний вид базовой линии хроматограмм характерен для применяемой модельной среды. Данные результаты также свидетельствует об отсутствии деструктивных процессов в материале, которые могут сказаться на качестве и безопасности исследуемых материалов. Образцы соответствуют требованиям ГН 2.3.2.972-00 и ТР ТС 005/2011. При анализе хроматограмм заметно, что введение бетулина и ДКВ в концентрациях 0,5% масс и 1,0% масс не оказывает влияния на интенсивность миграции летучих органических соединений. Однако следует отметить, что на всех хроматограммах в независимости от типа модельной среды обнаруживаются неидентифицируемые пики, что, вероятно всего связано с детектированием веществ входящих в состав модификаторов.

Проведенные исследования показали, что у всех опытных образцов биоразлагаемой модифицированной пленки PLA/PBAT после 120 суток выдержки в компосте не наблюдается увеличения миграции вредных веществ в значениях, превышающих нормы ДКМ, $\text{мг}/\text{дм}^3$.

Таким образом по совокупности проведенных санитарно-гигиенических показателей определена безопасность разработанных материалов и показана их перспективность применения в качестве упаковки для молочной и пищевой продукции.

В шестой главе представлены данные об оценке хранимостпособности молочной продукции в разработанных упаковочных материалах на основе синтетических и биоразлагаемых компонентов с ускоренной биodeградацией.

Изменения физико-химических и микробиологических показателей сметаны массовой долей жира 15,0% представлены на Рисунке 28.

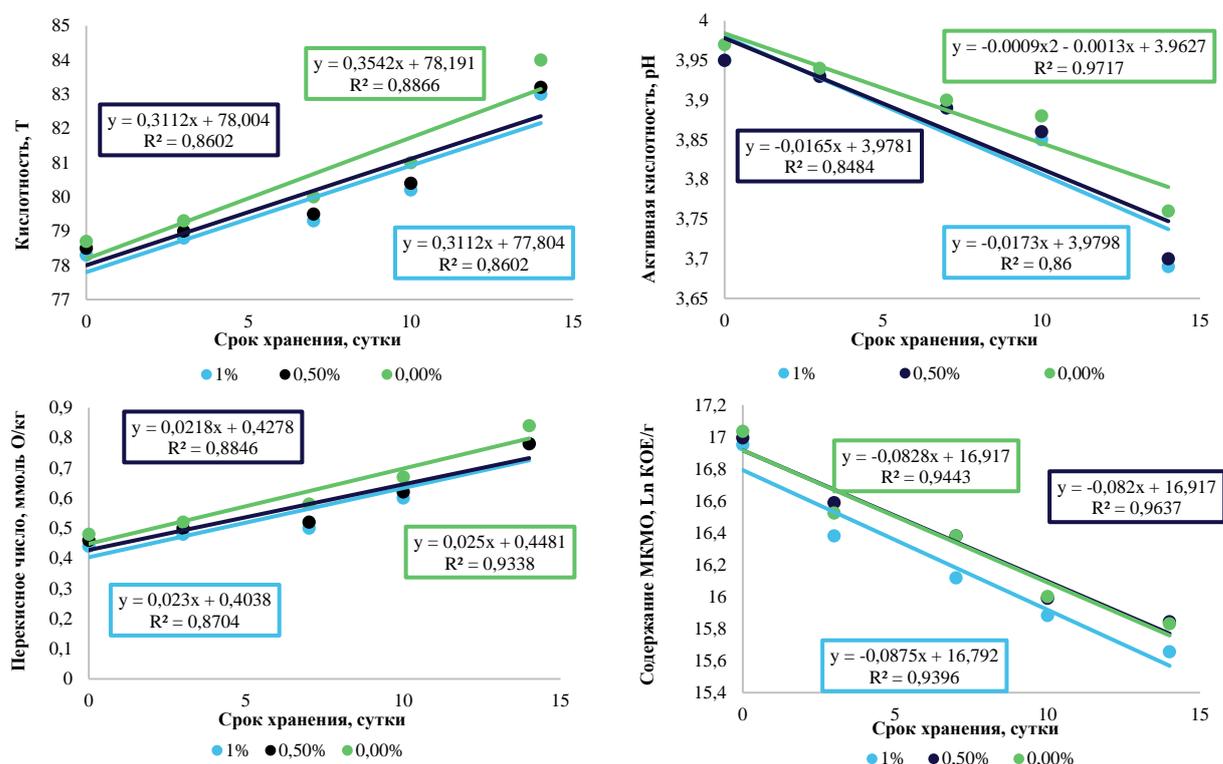


Рисунок 28 Физико-химических и микробиологических показателей сметаны 15,0% жирности, упакованной в опытные образцы термоформованной полимерной упаковки с различной концентрацией бетулина

Результаты органолептических исследований показали, что у образцов сметаны, упакованной в классическую LDPE пленку и модифицированную бетулином в концентрациях 0,5масс. и 1,0%масс. на протяжении 10 суток хранения не наблюдается изменений во внешнем виде (сметана представляет собой густую однородную массу, с глянцевой поверхностью, и слегка вязкой консистенцией), вкусе и запахе (сметана обладает кисломолочным запахом и вкусом; с легким привкусом топленого масла), и цвете (белый с легким кремовым оттенком равномерный по всей массе). На 10-14 сутки хранения сметаны 15,0% жирности во всех трех видах упаковочных материалов выявлены незначительные изменения органолептических показателей. Наблюдается незначительное отделение сыворотки и появляется легкий привкус окисленного жира.

В образцах сметаны массовой долей жира 15,0% упакованных в полимерную упаковку без модифицирующих добавок наблюдается увеличение титруемой кислотности в среднем на 1-1,5°Т на конец срока хранения по сравнению с образцами, упакованными в полимерную упаковку с бетулином.

Так же следует отметить, что во всех образцах упакованной сметаны, массовой долей жира 15,0%, наблюдается уменьшение значения активной кислотности, причем в модифицированной полимерной упаковке этот процесс

протекает чуть более интенсивно. На 10 сутки хранения величина рН для образцов сметаны, упакованной в опытные образцы полимерной модифицированной упаковки, составляет 3,69, в то время как у образцов сметаны в упаковке без модифицирующей добавки величина рН составляет 3,76.

Во всех образцах сметаны 15,0% жирности наблюдается увеличение перекисного числа в жире, выделенном из продукта. Причем характер его изменения в процессе хранения у всех образцов идентичный.

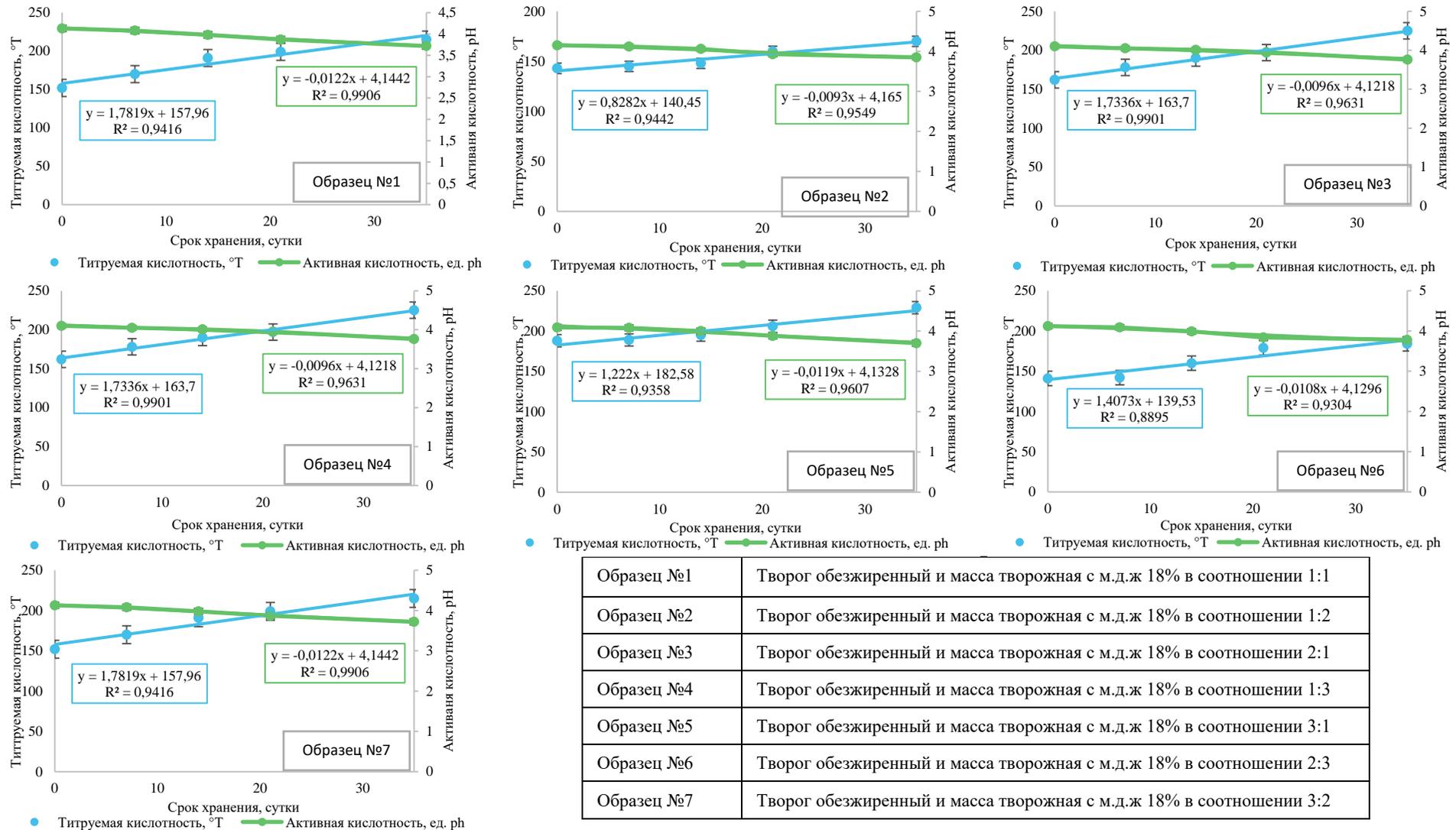
Результаты микробиологических исследований сметаны массовой долей жира 15,0% показывают, что количество молочнокислых микроорганизмов в сметане, упакованной в опытную термоформованную упаковку с бетулином 1,0% масс. незначительно уменьшается, что коррелируется с полученными результатами физико-химических исследований сметаны массовой долей жира 15,0% (изменение кислотности).

Для определения возможности потенциального использования биоразлагаемой упаковки на основе PLA/PBAT для хранения в ней молочной продукции были проведены исследования по определению хранимоспособности творога обезжиренного, творога с массовой долей жира 9,0%, массы творожной с массовой долей жира 18,0% и творожных продуктов на его основе. Образцы продукции упаковывали в стерильных условиях и хранили в бытовом холодильнике при температуре $4 \pm 2^\circ\text{C}$.

Анализ полученных данных показал во всех исследуемых образцах творога и массы творожной увеличение титруемой кислотности и падение активной кислотности, незначительное увеличение анизидинового числа и перекисного числа, что является характерным для данной продукции. Изменения массовой доли белка, массовой доли жира, массовой доли влаги и сухих веществ на протяжении всего срока хранения не наблюдаются. Различия полученных значений находятся в пределах погрешности.

У опытных образцов творожных продуктов при хранении в биоразлагаемой упаковке на основе PLA/PBAT наблюдается похожая картина: изменение активной и титруемой кислотности протекает характерно для творожных продуктов при хранении. Результаты представлены на Рисунке 29.

Представленные в главе результаты по оценке стойкости в хранении упакованной молочной продукции в разработанных синтетических и биоразлагаемых материалах свидетельствуют о возможности их использования в качестве альтернативы современной традиционной упаковке. При этом, поскольку в состав материалов введены антимикробные и антиоксидантные добавки, существует очевидная перспектива не только стабилизации упакованных продуктов, но и продления их сроков годности при хранении.



Образец №1	Творог обезжиренный и масса творожная с м.д.ж 18% в соотношении 1:1
Образец №2	Творог обезжиренный и масса творожная с м.д.ж 18% в соотношении 1:2
Образец №3	Творог обезжиренный и масса творожная с м.д.ж 18% в соотношении 2:1
Образец №4	Творог обезжиренный и масса творожная с м.д.ж 18% в соотношении 1:3
Образец №5	Творог обезжиренный и масса творожная с м.д.ж 18% в соотношении 3:1
Образец №6	Творог обезжиренный и масса творожная с м.д.ж 18% в соотношении 2:3
Образец №7	Творог обезжиренный и масса творожная с м.д.ж 18% в соотношении 3:2

Рисунок 29 – Изменение титруемой кислотности и активной кислотности опытных образцов творожных продуктов при хранении в биоразлагаемой упаковке на основе PLA/PBAT

В седьмой главе Глава посвящена разработке технологий производства модифицированных пленок, термоформованной и выдувной тары на основе органических и неорганических наполнителей, а также биоразлагаемой полимерной пленки на основе PLA/PBAT в том числе модифицированных. В разделе представлены данные о ранжировании показателей качества и безопасности полимерных упаковочных материалов при оценке их деградируемости, в том числе о разработке прогностической модели и проведении ее апробации. Проведена оценка экономической целесообразности внедрения разработанных технологий.

Технологическая часть исследований состояла из следующих основных элементов: определение принципиальной возможности создания полимерной упаковки модифицированной природными компонентами бетулин и ДКВ; выпуск суперконцентрата с их использованием; выпуск опытных образцов полимерных упаковочных материалов/ полимерной упаковки.

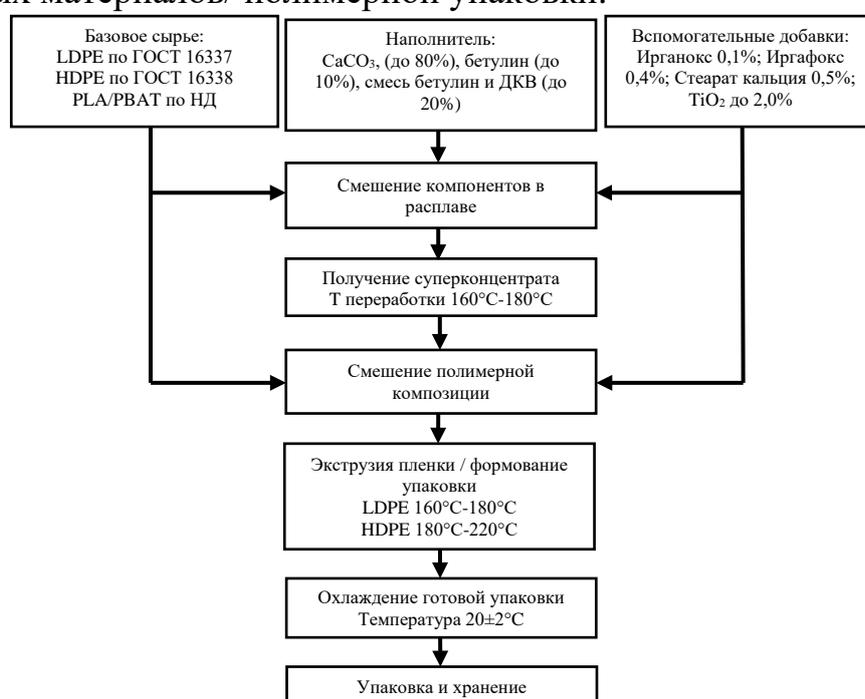


Рисунок 30 – Алгоритм получения полимерных пленочных материалов и упаковки, модифицированной бетулином, ДКВ и CaCO_3

Для разработки новых видов полимерных упаковочных материалов и полимерной упаковки с природными компонентами был выбрана методология совмещения компонентов в расплаве, заключающаяся в модификации полимерного сырья за счет создания композиции, состоящей из гранул полимера и суперконцентрата с содержанием модификатора от 20 до 80%, и дальнейшей её переработки в материал методом экструзии. В этом случае особую важность приобретают значения температур плавления используемых компонентов: они не должны быть ниже температуры плавления полимера, иначе в процессе переработки возможна их деструкция.

По результатам проведенных исследований проведена разработка технологии полимерных модифицированных пленок бетулином, ДКВ и CaCO_3 .

Пример принципиальной схемы производства в виде унифицированного алгоритма представлен на Рисунке 30.

Он основан на традиционных способах производства полимерных пленок методом экструзии с раздувом рукава и продавливанием через фильеру (плоскощелевая экструзия), а также, экструзионно-выдувного формования

На основании полученных результатов проведено ранжирование показателей качества и безопасности полимерных упаковочных материалов при оценке их деградируемости и разработана прогностическая модель (Рисунок 31).

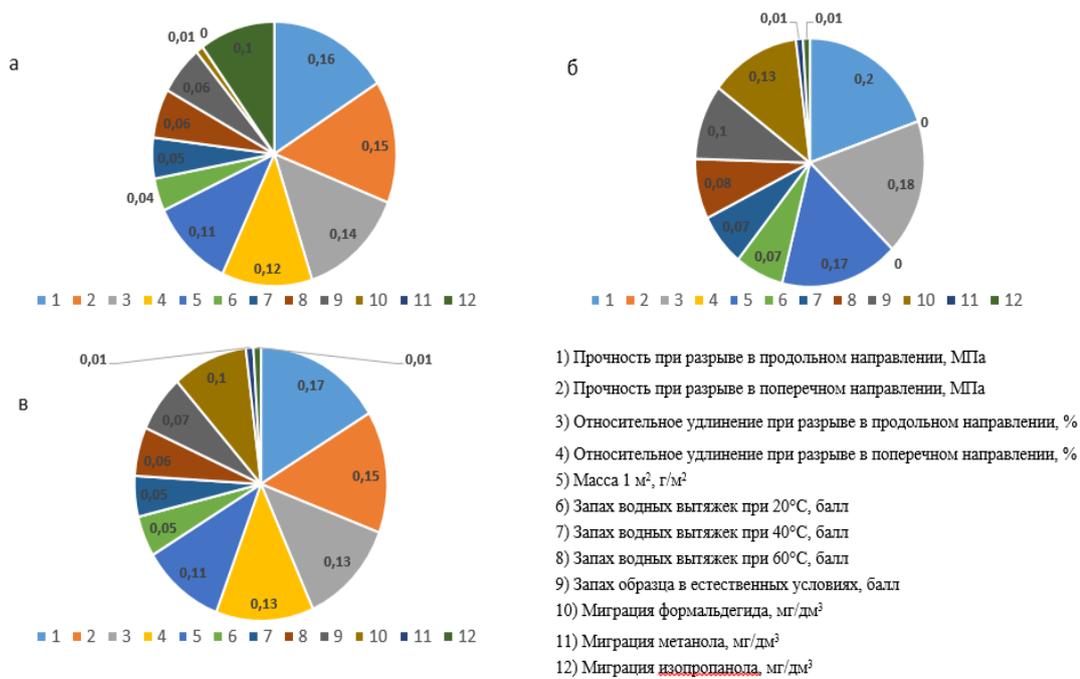


Рисунок 31– Ранжирование физико-механических, санитарно-химических и органолептических показателей биоразлагаемой пленки PLA/PBAT, изменяющихся в процессе компостирования: где а) пленка PLA/PBAT окрашенная; б) пленка PLA/PBAT прозрачная в) пленка PLA/PBAT с крахмалом

Для проведения сравнения результатов прогнозирования с фактическими сроками деградации были проведены работы по компостному хранению биоразлагаемого материала PLA/PBAT после хранения в нем творога (Рисунок 32).

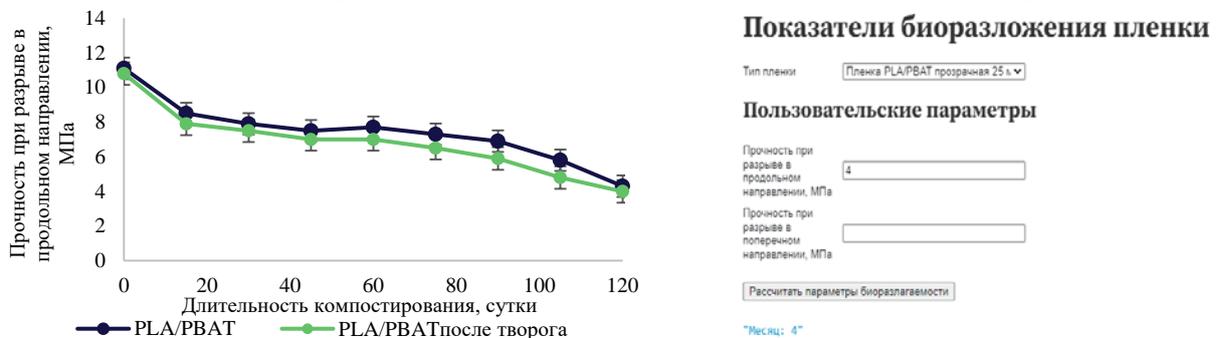


Рисунок 32– Результаты проведенной сопоставимости данных, полученных с использованием разработанной прогностической модели с результатами экспериментальных исследований биоразлагаемых материалов.

По результатам проведенных физико-механических испытаний была проведена сопоставимость данных, полученных с использованием разработанной прогностической модели с результатами экспериментальных исследований материалов. Расчетная и фактическая продолжительной деструкции материала в компосте совпадают, что свидетельствует о работоспособности программного комплекса.

Таким образом, проведено комплексное развитие системы знаний и технологических подходов в области создания модифицированных упаковочных систем для молочной продукции на основе полиолефинов и биополимеров.

Проведенный экономический расчет производства разработанных материалов на основе синтетических модифицированных материалов и биоразлагаемых пленок PLA/PBAT свидетельствует о высокой рентабельности производства и о коротком (1,0 – 1,6 лет, в зависимости от вида материала) сроке окупаемости, что является хорошими предпосылками для их дальнейшей промышленной реализации. При оценке перспективы внедрения разработок следует учитывать не только экономическую эффективность от реализации готовых полимерных изделий, но и экологический аспект. Разработанная биоразлагаемая упаковка в отличие от традиционных коммерчески доступных синтетических материалов подлежит утилизации методом компостирования на промышленных или естественных полигонах, при этом практически исключается риск образования микропластика, который может попасть в окружающую среду.

Основные результаты и выводы

Осуществлено развитие методологических основ и научно-технологических подходов в области создания и изучения модифицированных упаковочных систем для молочной продукции на основе полиолефинов и биополимеров.

1. Проведен анализ научно-технической информации существующих модифицирующих компонентов и биоразлагаемых материалов в контексте с оценкой возможности их использования в составе упаковочных систем.

2. Разработаны синтетические полимерные материалы на основе полиолефинов, модифицированных органическими и неорганическими компонентами. Проведены комплексные исследования опытных образцов полимерной тары из полиолефинов и модифицирующей добавки, обладающей комплексом антимикробных и антиоксидантных свойств, по физико-механическим и санитарно-химическим показателям. Проведенные микроскопические исследования позволили определить и визуализировать наличие антимикробной модифицирующей добавки бетулина как на поверхности, так и в массе полимера. Примененная методология и разработанные технологические решения позволили достигнуть равномерного распределения антимикробной и антиоксидантной добавок по массе базовых полимеров. Полученные образцы обладают высокой антимикробной активностью по отношению к БГКП, плесневым грибам и дрожжам. При этом подобный эффект наблюдается даже при минимальном (0,5%) внесении антимикробной добавки. При искусственном состаривании образцов выяснено, что на физико-механические характеристики материалов, модифицированных CaCO_3 оказывает влияние УФ-облучение источником

постоянного горения с последующей выдержкой в условиях компостирования 365 суток. Прочность образцов упала на 5,59%-7,36% в продольном направлении и 5,67%-11,34% в поперечном направлении в зависимости от выбранного режима облучения. Наиболее «чувствительным» показателем, характеризующим динамику деградации, является «Относительное удлинение при разрыве, %», что, гипотетически, связано с ослаблением межмолекулярных связей внутри полимерной матрицы при введении минерального наполнителя.

3. Исследована динамика комплекса физико-механических характеристик биоразлагаемых полимерных материалов на основе PLA и PBAT в условиях компостирования и изучено изменение микроструктуры образцов. Прочностные показатели биоразлагаемой пленки резко ухудшаются после компостирования в течение 60 суток. Наблюдается уменьшение разрушающего напряжения при разрыве на 53,26%-57,60%, а относительного удлинения при разрыве на 88,91% - 93,28% в зависимости от направления испытаний. Относительное удлинение при разрыве уменьшается практически в 2 раза. Падение массы 1м^2 после хранения материала в компосте после 90 суток составило 29,6%, что свидетельствует о протекании интенсивных деструктивных процессов. Экспериментально доказано, что введение в биоразлагаемые пленки крахмала увеличивает эластичность материала, стабилизирует прочность сварных швов и удлиняет период его деградации. На протяжении 120 суток компостного хранения образцов значение показателя «относительное удлинение при разрыве» практически не менялось и составляло 650-700%, в то время как у образцов пленки без крахмала наблюдалось резкое падение показателя более чем в 10 раз (с 365% до 31,7%) и прочности сварных швов более чем в 2 раза (падение показателя с 11,3 МПа до 4,3 МПа). Показано существенное уменьшение значения разрушающего напряжения при разрыве в продольном направлении: образца состава PLA/PBAT с концентрацией антимикробной добавки 0,5% - 50,0% и концентрацией 2,0% - 46,5% соответственно; характер изменения относительного удлинения при разрыве аналогичен немодифицированным образцам (уменьшение с 340% до 29%).

Проведен анализ К_д, который показывает, что при компостном хранении более 60 суток практически все исследованные материалы достигают порогового значения 1,25, после которого начинается необратимый процесс деструкции.

Результаты микроскопических исследований показывают, что на поверхности материала после 365 суток компостирования присутствуют в значительном количестве трещины и сквозные отверстия практически по всей поверхности образцов. При сравнении снимков SEM поверхности материала с образцами биоразлагаемых пленок состава PLA/PBAT без добавок заметно, что деструкция материала протекает менее интенсивно и характер поверхностных деформаций визуально отличается от немодифицированных материалов. Анализ ИК – спектров материала PLA/PBAT до и после компостирования показал, что во всем диапазоне от 690 до 4000 см^{-1} наблюдаются сильные отклонения от спектра контрольного образца. Значительные различия в спектрах выявлены в диапазоне от 1460 до 1380 см^{-1} , в зависимости от времени компостирования снижается интенсивность полос в этом диапазоне. Полученные спектральные характеристики

образцов подтверждают протекание процессов деструкции. Наибольшая интенсивность пиков наблюдалась после 365 суток хранения.

4. Результаты комплексных санитарно-химических исследований показывают, что миграция формальдегида в модельную среду с содержанием 3,0% молочной кислоты проходит более интенсивно, чем в модельную среду из дистиллированной воды. Санитарно-химические показатели LDPE пленок с содержанием минерального наполнителя 50% масс., и 70,0% масс изменяются в зависимости от применяемого режима УФ- облучения и времени хранения в компосте. В вытяжке на основе лимонной кислоты 2,0% и молочной кислоты 3,0% при всех режимах облучения наблюдаются наибольшие значения миграции летучих органических соединений. При воздействии УФ- облучения поверхности полимерных материалов с содержанием CaCO_3 50,0% в течение 90 минут происходит увеличение концентрации некоторых веществ (метанола, ацетона и изопропанола) до 0,11-0,14 мг/дм³ по сравнению с необлученными материалами. При компостировании опытных образцов PLA/PBAT модифицированных крахмалом в течение 120 суток в компосте не наблюдается увеличение миграции вредных веществ в значениях, не превышающих нормы допустимых количеств миграции (ДКМ мг/дм³). Увеличение формальдегида на 20-40% обнаружено в вытяжках на основе дистиллированной воды. Полученные результаты свидетельствуют о начале протекания деструктивных процессов, приводящих к увеличению миграции формальдегида после выдержки опытных образцов в течение 120 суток. При компостировании PLA/PBAT в течение 180 суток возрастает содержание изопропилового спирта (до 1,46 мг/дм³), что, также, является доказательством начала протекания деструктивных процессов. При компостировании опытных образцов модифицированных бетулином пленок PLA/PBAT в течение 120 суток в компосте не наблюдается увеличение миграции вредных веществ в значениях, не превышающих нормы допустимых количеств миграции (ДКМ мг/дм³), т.е. данный материал, является более «стойким» к разрушению, при прочих равных условиях. При всех условиях не наблюдается увеличение миграции вредных веществ в значениях, не превышающих нормы допустимых количеств миграции (ДКМ мг/дм³) что свидетельствует о безопасности исследуемых упаковочных систем.

5. Показано, что разработанная упаковка, модифицированная антимикробной и антиоксидантной добавкой в концентрации 0,5 и 1,0%, не оказывает негативного влияния на сметану при хранении в течение 14 суток; 30,0% сливки и жирового продукта на протяжении 60 суток. При этом не изменяются органолептические и физико-химические показатели продуктов. Проведенные комплексные исследования по оценке стойкости в хранении творога обезжиренного, творога массовой долей жира 9,0% и массы творожной массовой долей жира 18,0%, упакованных в биоразлагаемую упаковку на основе PLA/PBAT показали увеличение титруемой кислотности и падение активной кислотности, незначительное увеличение анизидинового числа и перекисного числа, что является характерным для данной продукции, следовательно, не связано с упаковкой. Продукты хранились в течение 35 суток. Проведены комплексные

исследования по влиянию творога обезжиренного, творога массовой долей жира 9,0% и массы творожной массовой долей жира 18,0% и пищевых моделей на физико-механические показатели биоразлагаемой пленки в процессе хранения. Изменение значений прочности при разрыве материала изменяется на 3,8% – 6,7% в продольном направлении и на 3,7-9,4% в поперечном направлении. Показано, что разрушающее напряжение при разрыве, относительное удлинение при разрыве, прочность сварных соединений изменяются по отношению к контрольному образцу на 5-10% в зависимости от показателя. Изменения связаны с особенностью свойств входящих в состав компонентов: PLA и PBAT имеют различную структуру, что приводит к некоторой неоднородности материала. Сравнение полученных данных с результатами измерений прочности биоразлагаемого материала PLA/PBAT до и после хранения в нем творожных продуктов можно констатировать, что с учетом погрешности измерений полученные значения практически идентичные. Это доказывает, что в процессе жизненного цикла упакованного творога и пищевых моделей, процесс деградации упаковки не начинается.

6. Проведено ранжирование физико-механических, органолептических и санитарно-химических показателей синтетических и биоразлагаемых материалов, изменяющихся при компостировании. Показано, что значимое влияние имеют прочность и относительное удлинение при разрыве. С применением метода интерполяций разработана прогностическая модель деградируемости пленочной упаковки, а также проведена сопоставимость полученных расчетных и экспериментальных значений. Прогнозируемые значения коррелируют с физически полученными данными.

7. В результате проведенных исследований разработаны технологии, предложен универсальный алгоритм технологических процессов; разработаны и утверждены технические условия, технологическая инструкция и стандарты организации: ТУ 2245-15-00419785-2015 – Бутылки и банки полимерные с антимикробной добавкой; Технологическая инструкция на производство бутылок и банок полимерных с антимикробной добавкой; Исходные требования на опытный образец суперконцентрата ПОЛИБАКТ® на основе полиолефинов с антимикробной и/или антиоксидантной добавкой; СТО 00416785-032-2017 – Контейнеры полимерные с антимикробной добавкой; СТО 00419785-041-2019 – Контейнеры полимерные многослойные с антимикробной добавкой; СТО 00419785-042-2019 – Лента полипропиленовая многослойная с антимикробной добавкой; ТУ 22.21.30-087-00419785-2022 – Пленка биоразлагаемая; ТУ 22.21.30-089-00419785-2022 – Пленка биоразлагаемая модифицированная; СТО 00419785-077-2024 – Пленка полиэтиленовая минеральная. Проведена оценка экономической целесообразности производства разработанных материалов.

По материалам диссертации опубликованы следующие работы:

Главы в монографиях и учебниках

1. **Мяленко, Д. М.** Разработка и совершенствование технологии обеззараживания ультрафиолетовым облучением / **Д. М. Мяленко**, О.Б. Федотова // Идеи академика Владимира Дмитриевича Харитонов в наукоемких технологиях переработки молока. – Москва: Федеральное государственное автономное научное учреждение "Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности", 2021. – С. 207-226.

2. **Мяленко Д.М.** Ультрафиолет. Теория и практика применения в молочной промышленности / **Д.М. Мяленко**, О.Б. Федотова, К.А. Рязанцева, Н.Е. Шерстнева, Е.Ю. Агаркова. Москва: Федеральное государственное автономное научное учреждение "Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности", 2023. – 120с.

3. **Мяленко Д.М.** Перспективные биоразлагаемые упаковочные материалы: исследование свойств при компостировании / **Д.М. Мяленко, О.Б. Федотова** / Грани молочной науки: эволюционные императивы и детерминанты развития. Коллективная монография. Под общей редакцией академика РАН, доктора технических наук Галстяна А.Г. – М.: ВНИМИ, 2024. – 320 с.

Статьи в журналах, индексируемых в WoS/Scopus

4. Kirsh I. Creation of biodegradable polymeric materials with antimicrobial properties / I. Kirsh, V. Romanova, O. Beznaeva, O. Bannikova, **D. Myalenko** // Eurasian Chemical Communication. – 2019. – Т. 1, № 6. – P. 595-603 DOI: 10.33945/SAMI/ECC.2019.6.9.

5. Kirsh I. Research of the influence of the ultrasonic treatment on the melts of the polymeric compositions for the creation of packaging materials with antimicrobial properties and biodegradability / I. Kirsh, O. Bannikova, O. Beznaeva, I. Tveritnikova, V. Romanova, D. Zagrebina, Y. Frolova, **D. Myalenko** // Polymers. 2020. Т. 12. № 2. С. 275. DOI: 10.3390/polym12020275

6. Fedotova O. Microscopic and structural studies of an antimicrobial polymer film modified with a natural filler based on triterpenoids / O. Fedotova, **D. Myalenko**, N. Pryanichnikova, E. Yurova, E. Agarkova // Polymers. 2022. Т. 14. № 6. 1097 DOI: 10.3390/polym14061097

7. **Мяленко Д.М.** Современные биоразлагаемые материалы с ускоренной деградацией для молочной и пищевой продукции (предметный обзор) / **Д.М. Мяленко** // Пищевые системы. 2023. Т. 6. № 1. С. 11-21. DOI: 10.21323/2618-9771-2023-6-1-11-21

8. **Myalenko D.M.** Physical, mechanical, and structural properties of the polylactide and polybutylene adipate terephthalate (pbat)-based biodegradable polymer during compost storage / **D.M. Myalenko**, O.B. Fedotova // Polymers. 2023. Т. 15. № 7. 1619. DOI: 10.3390/polym15071619

9. **Мяленко Д.М.** Исследования санитарно-гигиенических характеристик многослойных полимерных пленок для вакуумной упаковки, модифицированной природными антибактериальными компонентами / О.Б. Федотова, **Д.М. Мяленко**

// Теория и практика переработки мяса. 2016. Т.1. №2. С. 51-55. DOI: 10.21323/2414-438X-2016-1-2-51-55

10. **Мяленко Д.М.** Микропластики: особенности появления, методы идентификации (предметный обзор) / **Д.М. Мяленко** // Пищевые системы. – 2024. – Том 7 № 3. С. 394-402 DOI: <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2024-7-3-394-402>

Статьи в журналах, рекомендованных ВАК

11. **Мяленко Д.М.** Новые направления в упаковке молочной продукции / **Д.М. Мяленко, О.Б. Федотова** // Молочная промышленность. 2013. № 1. С. 8-9.

12. **Мяленко Д.М.** Влияние физических воздействий на микробиологические показатели модифицированных упаковочных материалов / **Д.М. Мяленко, О.Б. Федотова** // Молочная промышленность. – 2015. – № 1. – С. 19-20

13. **Федотова О.Б.** Нетрадиционный подход к обеззараживанию пищевой упаковки / **О.Б. Федотова, Д.М. Мяленко** // Молочная промышленность. – 2016. – № 1. – С. 25-27.

14. **Федотова О.Б.** Исследование санитарно-гигиенических показателей модифицированной полимерной упаковки / **О.Б. Федотова, Д.М. Мяленко, Н.С. Головань** // Контроль качества продукции. – 2018. № 1. – С. 23-27.

15. **Кирш И.А.** Упаковочные материалы для пищевой продукции с антимикробным компонентом природного происхождения / **И.А. Кирш, Ю.В. Фролова, Д.М. Мяленко** // Пищевая промышленность. 2018. № 1. С. 24-25.

16. **Мяленко Д.М.** Исследование санитарно-гигиенических показателей полимерной полиэтиленовой пленки наполненной крахмалом / **Д.М. Мяленко, П.Г. Михайленко, Н.С. Головань** // Международный научно-исследовательский журнал. 2020. № 5-1 (95). С. 59-63. DOI: 10.23670/IRJ.2020.95.5.009

17. **Мяленко Д.М.** Исследование краевого угла смачивания полиэтиленовой пленки, модифицированной органическими и неорганическими компонентами / **Д.М. Мяленко, П.Г. Михайленко** // Международный научно-исследовательский журнал. 2020. № 12-1 (102). С. 49-53. DOI: 10.23670/IRJ.2020.102.12.009

18. **Федотова О.Б.** Исследование физико-механических показателей наполненной пищевой сажой полиэтиленовой пленки для молочной и пищевой продукции после воздействия на нее импульсным ультрафиолетовым излучением / **О.Б. Федотова, Д.М. Мяленко** // Вестник КрасГАУ. 2020. № 7 (160). С. 166-172. DOI: 10.36718/1819-4036-2020-7-166-172

19. **Мяленко Д.М.** Влияние ультрафиолетового излучения на санитарно-гигиенические показатели полиэтиленовой пленки, наполненной неорганическими компонентами, для молочной продукции / **Д.М. Мяленко, Н.С. Головань** // Вестник КрасГАУ. 2020. № 11 (164). С. 205-212. DOI: 10.36718/1819-4036-2020-11-205-212

20. **Мяленко Д.М.** Биоразлагаемые полимерные материалы для упаковки молочной и пищевой продукции / **Д.М. Мяленко** // Молочная промышленность. 2020. № 11. С. 44-47. DOI: 10.31515/1019-8946-2020-11-44-46

21. **Тверитникова И.С.** Исследование многослойных полимерных пленок, модифицированных антимикробным компонентом, предназначенных для упаковки молочных продуктов / **И.С. Тверитникова, И.А. Кирш, О.А. Банникова, О.В.**

Безнаева, В.А. Романова, Т.А. Кондратова, Д.М. Загребина, **Д.М. Мяленко** // Пищевая промышленность. 2020. № 12. С. 66-69. DOI: 10.24411/0235-2486-2020-10146

22. **Мяленко Д.М.** Исследования изменения физико-механических характеристик полимерных пленочных материалов на основе полиэтилена, наполненных CaCO_3 , при воздействии ультрафиолетового излучения / **Д.М. Мяленко**, П.Г. Михайленко // Хранение и переработка сельхозсырья. 2021. № 1. С. 30-37. DOI: 10.36107/spfp.2021.186

23. **Мяленко Д.М.** Исследование изменений физико-механических показателей биоразлагаемых полимерных пленок при компостировании / **Д.М. Мяленко** // Пищевая промышленность. 2021. № 8. С. 40-43. DOI: 10.52653/PPI.2021.8.8.010

24. **Мяленко Д.М.** Особенности санитарно-химических и органолептических исследований упаковочных полимерных материалов / **Д.М. Мяленко** // Молочная промышленность. 2021. № 2. С. 8-10. DOI: 10.31515/1019-8946-2021-02-8-10

25. Федотова О.Б. Безопасность упаковки, формируемой в процессе производства молочной продукции / О.Б. Федотова, **Д.М. Мяленко** // Молочная промышленность. 2021. № 2. С. 11-13. DOI: 10.31515/1019-8946-2021-02-11-13

26. **Мяленко Д.М.** Морфология поверхности образцов пленки полиэтиленовой, наполненной двуокисью титана / **Д.М. Мяленко**, О.Б. Федотова // Пищевая промышленность. 2022. № 3. С. 56-59. DOI: 10.52653/PPI.2022.3.3.013

27. **Мяленко Д.М.** Исследование прочности сварных швов нового биоразлагаемого упаковочного материала / **Д.М. Мяленко**, Федотова О.Б. // Молочная промышленность. 2022. № 2. С. 17-18. DOI: 10.31515/1019-8946-2022-02-17-18

28. **Мяленко Д.М.** Физико-механические и структурные исследования оксоразлагаемой упаковки на основе полиэтилена и прооксиданта d2w при компостном хранении / **Д.М. Мяленко**, О.Б. Федотова // Пищевая промышленность. 2023. № 2. С. 44-48. DOI: 10.52653/PPI.2023.2.2.010

Публикации в журналах, индексируемых в РИНЦ, и материалах конференций

29. Федотова О.Б. Исследование особенностей структуры образцов полиолефиновой упаковки, модифицированные природными компонентами с антимикробными свойствами для молочной продукции, с использованием гистологических методов О.Б. Федотова, **Д.М. Мяленко**, С.И. Хвыля // Международная научно-практическая конференция, посвященная памяти Василия Матвеевича Горбатова. 2014. № 1. С. 224-226.

30. **Мяленко Д.М.** Исследование влияния импульсного УФ-излучения сплошного спектра на физико-механические и санитарно-гигиенические свойства полипропиленовых контейнеров, модифицированных природными антимикробными компонентами / **Д.М. Мяленко**, О.Б. Федотова // Фундаментальные и прикладные исследования по безопасности и качеству пищевых продуктов. Сборник научных трудов VIII Международной конференции

молодых учёных и специалистов. Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Всероссийский научно-исследовательский институт технологии консервирования". 2014. С. 178-181.

31. **Мяленко Д.М.** Разработка новых видов термоформованной упаковки для молока и молочной продукции / **Д.М. Мяленко, О.Б. Федотова** // Молочная река. 2015. № 1 (57). С. 44-45.

32. Федотова О.Б. Нетрадиционный подход к обеззараживанию пищевой упаковки / О.Б. Федотова, **Д.М. Мяленко** // Международная научно-практическая конференция, посвященная памяти Василия Матвеевича Горбатова. 2015. № 1. С. 478-482.

33. Федотова О.Б. Новые antimикробные упаковки, перспективные для мясной промышленности / О.Б. Федотова, **Д.М. Мяленко** // Мясные технологии. 2015. № 6 (150). С. 29-31.

34. Федотова О.Б. Особенности контроля упаковки, формируемой на молокоперерабатывающем предприятии / О.Б. Федотова, **Д.М. Мяленко** // Переработка молока. 2015. № 6 (188). С. 49-51.

35. Ныркова Д.Е. Исследование термоформованной упаковки из полипропилена, модифицированной antimикробным компонентом, предназначенной для молочной продукции / Д.Е. Ныркова, Ю.А. Филинская, **Д.М. Мяленко** // День науки. Общеуниверситетская научная конференция молодых учёных и специалистов, сборник материалов. 2015. С. 151-152.

36. **Мяленко Д.М.** Разработка и исследование нового упаковочного материала с antimикробными свойствами / **Д.М. Мяленко** // Инновации в интенсификации производства и переработки сельскохозяйственной продукции. материалы Международной научно-практической конференции. Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции; Волгоградский государственный технический университет. 2015. С. 508-512.

37. **Мяленко Д.М.** Санитарно-гигиенические исследования antimикробной инновационной упаковки для молока и молочных продуктов / **Д.М. Мяленко, О.Б. Федотова** // Пищевые инновации и биотехнологии. Материалы Международной научной конференции. ФГБОУ ВО "Кемеровский технологический институт пищевой промышленности". 2015. С. 499-501.

38. **Мяленко Д.М.** Разработка новых видов тары для молока и молочных продуктов с комплексом antimикробных свойств / **Д.М. Мяленко, О.Б. Федотова** // Современные достижения биотехнологии. Актуальные проблемы молочного дела. материалы V Международной научно-практической конференции. Северо-Кавказский федеральный университет. 2015. С. 298-301.

39. **Мяленко Д.М.** Разработка инновационной тары для молочной и пищевой продукции, модифицированной природными antimикробными компонентами / **Д.М. Мяленко, О.Б. Федотова** // Кузбасс: образование, наука, инновации. Материалы Инновационного конвента. Департамент молодежной политики и спорта Кемеровской области; Кузбасский технопарк; Совет молодых ученых Кузбасса. 2015. С. 105-108.

40. Соловьева В.И. Изучение оптимальных параметров режима при сваривании швов в многослойных плёнках с антимикробными добавками / В.И. Соловьева, Д.Д. Федотова, А.А. Семкина, **Д.М. Мясенко**, В.Т. Тарасюк // Международная научно-практическая конференция молодых учёных и специалистов отделения сельскохозяйственных наук Российской академии наук. 2016. № 1. С. 348-350.

41. **Мясенко Д.М.** Исследование возможности определения содержания добавок природного происхождения (дигидрохверцитина) в вытяжках из модифицированных полимерных материалов с применением методов высокоэффективной жидкостной хроматографии / **Д.М. Мясенко**, Н.А. Жижин // Международная научно-практическая конференция молодых учёных и специалистов отделения сельскохозяйственных наук Российской академии наук. 2016. № 1. С. 259-263.

42. Шишкина Н.С. Изучение влияния ускоренных электронов на полимерную упаковку / Н.С. Шишкина, В.Т. Тарасюк, **Д.М. Мясенко**, Н.Е. Строкова, К.В. Понкратов, О.В. Карастоянова // Международная научно-практическая конференция, посвященная памяти Василия Матвеевича Горбатова. 2016. № 1. С. 347-349.

43. Федотова О.Б. Разработка инновационной тары для мясной, молочной и пищевой продукции, модифицированной природными антимикробными и антиоксидантными компонентами // О.Б. Федотова, **Д.М. Мясенко** // Международная научно-практическая конференция, посвященная памяти Василия Матвеевича Горбатова. 2016. № 1. С. 321-322.

44. Федотова О.Б. Разработка инновационной тары для молочной продукции / О.Б. Федотова, **Д.М. Мясенко** // Переработка молока. 2016. № 12 (206). С. 54-57.

45. Федотова О.Б. О новых разработках в области "активной" упаковки / О.Б. Федотова, **Д.М. Мясенко** // Мясные технологии. 2017. № 3 (171). С. 43-45.

46. Тарасюк В.Т. Изучение многослойного полимерного материала под влиянием ионизационной обработки / В.Т. Тарасюк, А.А. Семкина, В.И. Соловьева, Д.Д. Федотова, Н.Е. Строкова, **Д.М. Мясенко**, О.В. Баранов, А.В. Бакуменко, С.Н. Пучков, А.В. Прокопенко // Лазерные, плазменные исследования и технологии ЛаПлаз-2017. Сборник научных трудов III Международной конференции. 2017. С. 83.

47. **Мясенко Д.М.** Исследования санитарно-гигиенических показателей полиэтиленовой пленки, модифицированной комплексом антимикробных и антиоксидантных добавок / **Д.М. Мясенко**, Н.С. Головань // Наука – главный фактор инновационного прорыва в пищевой промышленности. Сборник материалов юбилейного форума, посвященного 85-летию со дня основания ФГАНУ "Научно-исследовательский институт хлебопекарной промышленности". 2017. С. 224-227.

48. **Мясенко Д.М.** Применение методов высокоэффективной жидкостной хроматографии для исследования возможности определения содержания добавок природного происхождения (дигидрохверцитина) в вытяжках из модифицированных полимерных материалов / **Д.М. Мясенко**, Н.А. Жижин //

Пищевые инновации и биотехнологии. материалы V Международной научной конференции. ФГБОУ ВО «Кемеровский технологический институт пищевой промышленности (университет)». 2017. С. 102-104.

49. Кирш И.А. Упаковка молока: сегодня и в перспективе / И.А. Кирш, Ю.В. Фролова, **Д.М. Мяленко** // Переработка молока. 2018. № 6 (224). С. 36-38.

50. **Мяленко Д.М.** Разработка инновационной упаковки для пищевой модифицированной природными антимикробными и антиоксидантными компонентами / **Д.М. Мяленко**, Н.С. Головань, О.Б. Федотова // Znanstvena Misel. 2019. № 8-1 (33). С. 3-5.

51. Мяленко Д.М. Модифицированная полимерная упаковка доказывает свою перспективность / **Д.М. Мяленко**, О.С. Полякова // Переработка молока. 2019. № 6 (236). С. 40-42. DOI: 10.33465/2222-5455-2019-6-40-42

52. Михайленко П.Г. Поиск оптимальных модельных сред для исследования безопасности контейнеров с бетулином / П.Г. Михайленко, **Д.М. Мяленко** // Пищевые технологии будущего: инновационные идеи, научный поиск, креативные решения. Сборник материалов научно-практической молодежной конференции, посвященной памяти Р.Д. Поландовой. 2019. С. 290-295.

53. **Мяленко Д.М.** Влияние термического, радиационно-химического и фотометрического воздействия на деструкцию и "старение" полимерных материалов / **Д.М. Мяленко** // Актуальные вопросы молочной промышленности, межотраслевые технологии и системы управления качеством. 2020. Т. 1. № 1 (1). С. 406-411. DOI: 10.37442/978-5-6043854-1-8-2020-1-406-411

54. Кондратова Т.А. Барьерные упаковочные материалы для мясной продукции / Т.А. Кондратова, А.А. Семенов, И.А. Кирш, О.А. Банникова, В.Д. Островская, **Д.М. Мяленко** // Мясные технологии. 2020. № 1 (205). С. 19-21. DOI: 10.33465/2308-2941-2020-01-19-21

55. Федотова О.Б. Некоторые аспекты невозможности реализации политики greenpeace в части использования "пищевой" упаковки для молочной продукции / О.Б. Федотова, **Д.М. Мяленко** // Переработка молока. 2021. № 12 (266). С. 6-9. DOI: 10.33465/2222-5455-2021-12-6-9

56. **Myalenko D.M.** Investigation of the influence of ultraviolet radiation on the strength characteristics of mineral-filled films during their disposal after the end of the life cycle / **D.M. Myalenko**, О.В. Fedotova // International scientific and practical conference "Ensuring sustainable development: agriculture, ecology and earth science" (AEES 2021). London, 2022. С. 012051. DOI: 10.1088/1755-1315/1010/1/012051

57. **Мяленко Д.М.** Новые и актуальные стандарты по экологическим аспектам маркировки упаковки и укупорочным средствам для пищевой продукции / **Д.М. Мяленко** // Переработка молока. 2022. № 9 (275). С. 32-34.

58. Obydenova A.A. Study of the strength properties of a biodegradable material based on polybutylene-adipate terephthalate and polylactide when exposed to ultraviolet radiation / A.A. Obydenova, **D.M. Myalenko** // Scientific research of the sco countries: synergy and integration. Proceedings of the International Conference. Beijing, 2022. С. 137-142. DOI: 10.34660/INF.2022.10.53.130

59. Обыденнова А.А. Исследование физико-механических и органолептических характеристики биоразлагаемой полимерной упаковки на основе полиэтилена, модифицированного оксо-добавкой D2W / А.А. Обыденнова, **Д.М. Мьяленко** // Пищевые инновации и биотехнологии. Сборник тезисов X Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Под общей редакцией А.Ю. Просекова. Кемерово, 2022. С. 298-300.

60. Михайленко П.Г. Исследования изменения физико-механических свойств полимерной пленки на основе оксоразлагаемых и органических компонентов в процессе компостирования / П.Г. Михайленко, **Д.М. Мьяленко** // Пищевые инновации и биотехнологии. Сборник тезисов X Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Под общей редакцией А.Ю. Просекова. Кемерово, 2022. С. 280-282.

61. Михайленко П.Г. Исследование статического коэффициента трения полимерных наполненных материалов для упаковки молочной продукции / П.Г. Михайленко, **Д.М. Мьяленко** // Актуальные вопросы производства сыра, масла и другой молочной продукции. Сборник материалов международной научно-практической конференции. Углич, 2022. С. 250-252.

62. **Myalenko D.M.** The ultraviolet radiation influence on the physical-mechanical and structural characteristics of a biodegradable polymeric material based on polylactide and poly(butylene adipate-co-terephthalate) during compost storage / **D.M. Myalenko**, O.V. Fedotova, A.A. Agarkov // Food Metaengineering. 2023. Т. 1. № 4. С. 28-38. DOI: 10.37442/fme.4.27

63. **Мьяленко Д.М.** Биоразлагаемые материалы для молочной продукции на основе полилактида, перспективы применения / Д.М. Мьяленко // Производство сыра, масла и другой молочной продукции в современных условиях. Проблемы и пути решения. Сборник материалов международной научно-практической конференции. Углич, 2023. С. 330-334.

Результаты интеллектуальной деятельности

64. Патент на изобретение RU 2422475 Способ активации поверхности полимерного материала, модифицированного антимикробной добавкой бетулин Федотова О.Б., **Мьяленко Д.М.** С1, 27.06.2011. Заявка № 2009139626/05 от 26.10.2009.

65. Патент на изобретение RU 2725644 Биодegradируемая полимерная композиция с антимикробными свойствами на основе полиолефинов Кирш И.А., Безнаева О.В., Банникова О.А., **Мьяленко Д.М.**, Тверитникова И.С., Романова В.А., Загребина Д.М. С1, 03.07.2020. Заявка № 2019140919 от 11.12.2019.

66. Программа ЭВМ RU 2024667793 Прогностическая модель деградированности пленочных упаковочных материалов **Мьяленко Д.М.**, Семипятный В.К., Федотова О.Б., Заявка № 2024666139 от 09.07.2024 публикация 30.07.2024, Бюл №8.

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

PLA- полилактид

PBAT – полибутиленаддипаттерефталат

ДКВ – дигидрокверцетин

CaCO₃ – карбонат кальция

TiO₂ – диоксид титана

PE – полиэтилен

PP – полипропилен

HDPE – полиэтилен высокого давления

LDPE – полиэтилен низкого давления

Кд – коэффициент деградации

КУС – краевой угол смачивания

SEM – сканирующая электронная микроскопия

УФ – ультрафиолет

ИК – инфракрасное излучение

МНПВО - многократного нарушенное полное внутреннее отражение

T_n – температура переработки

δ – прочность при разрыве, МПа

ε – относительное удлинение при разрыве, %

ПЕРЕЧЕНЬ ВВОДИМЫХ ТЕРМИНОВ

Посттехнологические условия – совокупность процессов, влияющих на изменения комплекса физико-механических, санитарно-химических и структурно-механических характеристик упаковки и упаковочных материалов после окончания основных технологических процессов их производства.

Коэффициент деградации (К_{дn}) - отношение значения прочностных показателей упаковочного материала к значению соответствующего показателя при хранении в течение определенного времени n.

Упаковочные системы – объекты упаковочных материалов и изготовленной из них упаковки, совокупность состава и свойств которых, образуют определенную целенаправленность.