

На правах рукописи



**Белоглазова Кристина Евгеньевна**

**РАЗРАБОТКА ПЛЕНОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ  
НА ОСНОВЕ ПОЛИСАХАРИДОВ  
И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ**

03.01.06 – биотехнология (в том числе бионанотехнологии)

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата сельскохозяйственных наук

Саратов – 2020

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова»

**Научный руководитель:** кандидат биологических наук, доцент  
**Рысмухамбетова Гульсара  
Есенгильдиевна**

**Официальные оппоненты:** **Бабич Ольга Олеговна**, доктор технических наук, доцент, ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта», директор института живых систем

**Сергазиева Ольга Дмитриевна**, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет», доцент кафедры «Технология товаров и товароведение»

**Ведущая организация:** ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет

Защита состоится «\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 года в \_\_00 часов на заседании диссертационного совета Д 220.061.07 на базе ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова» по адресу: 410005, г. Саратов, ул. Соколова, 335, УК № 3, диссертационный зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ и на сайте [www.sgau.ru](http://www.sgau.ru)

Отзывы направлять по адресу: 410012, г. Саратов, Театральная площадь, д. 1, ученому секретарю диссертационного совета.

Автореферат разослан «\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 года

Ученый секретарь  
диссертационного совета

доктор биологических наук, профессор

Карпунина Лидия Владимировна

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Сельское хозяйство – отрасль, направленная на обеспечение населения продовольствием и получение сырья для других секторов промышленности, от состояния агропромышленного комплекса зависит и безопасность государства. В настоящее время сельское хозяйство формируется под воздействием роста требований потребителей и расширения возможностей производства высококачественной продукции на основе интеллектуализации, автоматизации и роботизации технологических процессов на всем протяжении цикла от производства до потребления.

Поиск новых «умных» упаковочных материалов для хранения продуктов и товаров является актуальной задачей, так как это позволит пролонгировать сроки хранения, сохранить и улучшить качество товара и продуктов. Пищевые пленки и покрытия представляют собой тонкие слои материалов, наносимые на продукцию растительного и животного происхождения с целью сохранения полезных веществ. Основные функции полимерных пленок заключаются в защите продуктов от механических повреждений, физических, химических и биологических воздействий (Касьянов, 2015). В настоящее время большое количество исследований посвящено решению проблем, связанных с отходами пластмассовых материалов, поэтому перспективным является создание экологических упаковок (Комаров, 2014; Савицкая, 2016). С этой целью изучается возможность замены неразлагаемых полимеров на биodeградируемые из возобновляемых источников, отличающиеся при этом относительно низкой стоимостью и высокими потребительскими свойствами. В связи с этим широкое использование биоразлагаемых полимерных упаковок в качестве альтернативного варианта позволит не загрязнять окружающую среду. Использование биопленочных покрытий в пищевой и перерабатывающей промышленности, в том числе для хранения продуктов с короткими сроками годности, основано на таких свойствах, как доступная стоимость, универсальность, приемлемые оптические и структурно-механические показатели, газонепроницаемость, высокая устойчивость к микроорганизмам и воде и сенсорной приемлемости (Савицкая, 2014).

**Степень разработанности темы исследования.** В последние годы растет спрос во многих отраслях промышленности, в том числе агропромышленном комплексе, медицине и фармацевтике на альтернативные экологические упаковочные материалы (Клишков, 2010). В связи с этим исследования в области создания и применения данных упаковочных материалов приобретают большую значимость.

Имеются сведения по производству пленочных покрытий с использованием полисахаридов различного происхождения. Например, известны высокоэластичные слоистые пленки, изготавливаемые из хитозана и пектина (Hoagland, 1995; Перфильева, 2012), защитная среда для хранения очищенного картофеля в водном растворе с добавлением полисахарида микробного происхождения ксантана (Бухарова, 2011), биоразлагаемая пленка из хитозана и ксантана (Денисова, 2014). В большинстве случаев данные разработки имеют узкий спектр применения, так как ориентированы на конкретную продукцию. Кроме того, существенными недостатками данных пленок являются высокая себестоимость, значительная трудоемкость изготовления и наличие специализированного оборудования.

В связи с тем, что потребность в биоразлагаемых упаковочных материалах с высокими потребительскими свойствами постоянно растет, данные исследования по разработке пленочных покрытий на основе полисахаридов являются актуальными и имеют важное научное и практическое значение.

**Цель работы** – разработка пленочных покрытий на основе полисахаридов и изучение их свойств с перспективой дальнейшего использования. Для реализации поставленной цели были определены следующие задачи:

1. Подобрать компонентный состав и технологию производства пленочных покрытий в зависимости от способа нанесения.

2. Определить физико-химические и структурно-механические свойства пленочных покрытий.

3. Изучить влияние пленочных покрытий на качество сельскохозяйственной продукции и наметить перспективы их использования.

4. Исследовать биодegradабельные свойства пленочных покрытий.

5. Обосновать экономическую эффективность предлагаемой технологии.

**Научная новизна работы.** Впервые были созданы пленочные покрытия на основе полисахаридов – ксантана и карбоксиметилцеллюлозы (КМЦ) в зависимости от способов нанесения: распыление – 0,60 и 2,73 %; кистью – 0,90 и 2,05 %; оборачивание вокруг продукта – 1,61 и 1,38 % соответственно. Обосновано введение в компонентный состав пленочных покрытий лецитина и глицерина. Изучены физико-химические, структурно-механические и биодegrадабельные свойства пленочных покрытий в зависимости от способов нанесения. Установлено, что пленочные покрытия сокращают потери массы и пролонгируют сроки хранения сельскохозяйственной продукции: шампиньонов с 12 до 18 месяцев, картофеля с 18 до 24 месяцев, хлебобулочных (булочка «Домашняя») и кондитерских изделий («Круассан из слоеного теста») с 72 до 96 часов, свинины с 48 до 120 часов, карпа с 24 до 48 часов. Установлено, что пленочные покрытия экологически безопасны, так как способны полностью разлагаться в почве через 7 суток. Показан экономический эффект от внедрения разработки при производстве 225 т продукции в год при уровне рентабельности 40 %.

**Теоретическая и практическая значимость работы.** Данные, полученные в ходе анализа структурно-механических свойств пленочных покрытий и их растворов, восполняют недостающие сведения и формируют теоретическую базу для изучения свойств используемых полисахаридов – ксантана и карбоксиметилцеллюлозы. Применение данных полисахаридов для получения пленочных покрытий с заданными свойствами открывает перспективы их дальнейшего использования в различных отраслях агропромышленного комплекса.

По материалам диссертационной работы получен патент на изобретение «Биоразлагаемое пищевое пленочное покрытие» (№ 2662008, 27.07.2018. Бюл. № 21). Результаты диссертационной работы используются в учебном процессе при чтении лекций и проведении лабораторных занятий со студентами факультета ветеринарной медицины, пищевых и биотехнологий ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова».

**Методология и методы исследования.** Методологические подходы в решении поставленных задач основаны на применении

как общенаучных методов – теоретико-методологического анализа литературных источников, так и эмпирических методов исследования в форме наблюдения, эксперимента, описания, измерения и сравнительно-сопоставительного анализа. Для достижения цели диссертационной работы, теоретического обоснования возможности создания и применения пленочных покрытий на основе полисахаридов использована совокупность адекватных методологических приемов, современные и общепринятые методы статистической обработки данных. Применение указанных методов, а также детальный анализ фактического материала позволили обеспечить объективность полученных результатов и выводов.

#### **Положения, выносимые на защиту:**

1. Технология производства пленочных покрытий состоит из нанесения компонентного состава на продукты путем распыления, кистью и оборачивания.
2. Компонентный состав (ксантан и КМЦ) пленочного покрытия для его нанесения путем распыления состоит из 0,60 и 2,73 %; для способа нанесения кистью – 0,90 и 2,05 %; оборачивание вокруг продукта – 1,60 и 1,38 % соответственно.
3. Пленочное покрытие, созданное на основе 0,60 % ксантана и 2,73 % КМЦ, имеет динамическую вязкость раствора 1700 мПа·с, прочность – 2,1 Па, растяжимость – 10,83 мм, толщину – 0,019 мм; на основе 0,90 % ксантана и 2,05 % КМЦ – динамическую вязкость раствора 1210 мПа·с, прочность – 3,28 Па, растяжимость – 12,48 мм, толщину – 0,012 мм; на основе 1,60 % ксантана и 1,38 % КМЦ – динамическую вязкость раствора 1640 мПа·с, прочность – 3,05 Па, растяжимость – 17,12 мм, толщину – 0,088 мм.
4. Продукты с нанесенным пленочным покрытием обладают лучшими органолептическими показателями по сравнению с контрольными образцами и способствуют сокращению потери массы продуктов при замораживании: шампиньонов на 6 %; груши на 14 %; картофеля на 37 %; булочка «Домашняя» и «Круассан из слоеного теста» на 2 %; свинины охлажденной на 5 %; карпа охлажденного на 6 %.
5. Применение пленочных покрытий пролонгирует сроки хранения: шампиньонов и картофеля на 6 месяцев, булочки «Домашняя» и «Круассан из слоеного теста» на 24 часа; свинины охлажденной на 72 часа; карпа охлажденного на 48 часов.

6. Пленочные покрытия, созданные на основе ксантана, способны полностью разлагаться в почве через 7 суток.

7. Определен экономический эффект от внедрения разработки при производстве 225 т продукции в год при уровне рентабельности 40 %.

**Работа выполнена** на кафедре «Технологии продуктов питания» ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова».

**Степень достоверности и апробация результатов.** Достоверность результатов обусловлена значительным объемом экспериментального материала, полученного с использованием высокоинформативных методов исследования с подтверждением данных математической статистики. Основные материалы диссертационной работы представлены на: Международной научной конференции студентов, аспирантов и учащейся молодежи «Современные проблемы и тенденции развития агропромышленного комплекса» (Казань, 2017); V Международной научно-практической интернет-конференции «Приоритеты и научное обеспечение реализации государственной политики здорового питания в России» (Орел, 2017); Международной научно-практической конференции «Биотехнология в комплексном развитии регионов» (Москва, 2016); IX Международной научно-практической конференции, посвящённой 20-летию специальности «Технология продукции и организация общественного питания» (Саратов, 2015); V Международной научно-практической конференции «Биотехнология: наука и практика» (Ялта, 2017); Международной научно-практической конференции «Новые подходы к разработке технологий производства и переработке сельскохозяйственной продукции» за 2018-2019 гг. (Волгоград, 2018; 2019); Международном интеграционном конгрессе «Евразийское междуречье: интеграция производства, науки и образования» (Уральск, 2017); Международном смотре-конкурсе органической (экологически чистой) продукции животноводства, птицеводства, пчеловодства (Уральск, 2017); 8-й Межрегиональной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «Гигиена, экология и риски здоровью в условиях современного производства» (Саратов, 2018); Всероссийской научно-практической конференции «Инновационные идеи молодых исследователей для агропромышленного комплекса России» (Пенза, 2017); 7-й

Всероссийской неделе наук с международным участием, посвященной всемирному дню здоровья (Саратов, 2018); Ежегодном конкурсе научно-инновационных работ среди студентов, аспирантов и молодых ученых (Саратов, 2016); IX Саратовском салоне изобретений, инноваций и инвестиций (Саратов, 2017); конкурсе министерства сельского хозяйства РФ по Саратовской области (Саратов, 2017); конференциях профессорско-преподавательского состава и аспирантов по итогам научно-исследовательской работы СГАУ им. Н.И. Вавилова за 2015 – 2018 гг. (Саратов, 2016; 2017; 2018); Российской агропромышленной выставке «Золотая осень» (Москва, 2018); XVI Всероссийской конференции молодых ученых, аспирантов и студентов с международным участием «Пищевые технологии и биотехнологии», посвященной 150-летию Периодической таблицы химических элементов (Казань, 2019); Международной научно-практической конференции «Инновационное развитие пищевой, легкой промышленности и индустрии гостеприимства» (Алматы, 2019).

**Публикации.** По теме диссертации опубликована 21 работа, в том числе 2 статьи в журналах, индексируемых в международных базах данных Scopus и Web of Science, и 1 патент.

**Личный вклад соискателя** состоит в подготовке и проведении экспериментальных исследований на всех этапах диссертационной работы, интерпретации полученных результатов, оформления патента, участии в подготовке публикаций.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, двух глав: обзора литературы и экспериментальной части, включающей описание объектов и методов исследований, результаты исследований и их обсуждений, а также заключения, выводов, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы. Работа изложена на 123 страницах, содержит 20 таблиц, 25 рисунков. Список литературы включает 117 наименований, в том числе 60 зарубежных.

## **СОБСТВЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ**

### **Объекты и методы исследований**

В работе использовали: ксантан, производитель «Родежилль» (Франция); хитозан, производитель «Хитозановые технологии»,



(Россия); карбоксиметилцеллюлоза, производитель «Fluca» (Швейцария); лецитин, производитель «Cargill» (Германия).

Для изучения влияния пленочных покрытий на сельскохозяйственную продукцию использовали: полуфабрикаты из картофеля «Сырой, очищенный, нарезанный брусочками», СанПиН 2.3.2.1324-03; полуфабрикаты из груши «Груша, нарезанная ломтиком»; полуфабрикаты из шампиньонов «Шампиньоны зачищенные, нарезанные ломтиками», ГОСТ Р 55465-2013; хлебобулочное изделие булочка «Домашняя», согласно «Сборнику рецептур мучных кондитерских и булочных изделий»; кондитерское изделие «Круассан», согласно «Сборнику рецептур мучных кондитерских и булочных изделий»; полуфабрикаты из мяса «Свинина. Отрубы, мелкокусковые», ГОСТ 31778-2012; полуфабрикаты из рыбы «Карп. Целиком, потрошенный, с головой», ГОСТ 814-96.

Динамическую вязкость растворов опытных образцов пленочных покрытий определяли с помощью ротационного вискозиметра Themo Haake Viskoteter R-7 (Нидерланды). Для исследований использовали ротор R5, скорость вращения составила от 60 – 100 об/мин.

Толщину застывших пленочных покрытий определяли с помощью прибора Roadweller RW-TM-01(Китай). Исследования проводились в нормальных условиях: температура воздуха 22 °С, относительная влажность воздуха 65 %.

Определение показателей прочности и растяжимости пленочных покрытий на основе полисахаридов проводили с помощью прибора «СТЗ 4500 Brookfield» (США).

Подготовку проб пищевых продуктов (овощей, фруктов, грибов, кондитерских и хлебобулочных изделий) к испытанию осуществляли по стандартным методикам.

Подготавливали и хранили свинину согласно ГОСТ 31778-2012 «Мясо. Разделка свинины на отрубы. Технические условия».

Исследования органолептических показателей проводили в соответствии с ГОСТ 7269-2015 по 5-балльной шкале.

Органолептическую оценку охлажденного карпа, упакованного в биокорректируемую пленку, проводили в соответствии с требованиями ГОСТ 814-96 «Рыба охлажденная. Технические условия».

Показатели качества сырья, полуфабрикатов и готовой продукции овощей, фруктов, грибов и хлебобулочных изделий оценивали по ГОСТ Р 56827-2015, ГОСТ 7176-85, ГОСТ 27519-87, ГОСТ 5897-90, ГОСТ 5667-65.

Определение содержания токсичных элементов в свинине определяли согласно ГОСТ 30178-96 «Сырье и продукты пищевые. Атомно-абсорбционный метод определения токсичных элементов».

Микробиологические исследования овощей, фруктов, грибов, хлебобулочных изделий и мясного сырья проводили по общепринятым методикам мясных полуфабрикатов согласно ГОСТ 10444.15-94, ГОСТ 31747-2012, ГОСТ 28560-90, ГОСТ 31659-2012, ГОСТ 32031-2012, ГОСТ 10444.2-94.

Для исследования биodeградации в почве использовали универсальный грунт торговой марки «Родная земля», название «Родная земля для рассады». Состав грунта: торф, известковый мел, доломитовая мука, минеральные удобрения. Питательные вещества: азот ( $\text{NH}_4+\text{NO}_3$ ) – 120 – 280 мг/л; фосфор ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) – 290 – 610 мг/л; калий ( $\text{K}_2\text{O}$ ) – 290 – 610 мг/л; кислотность рН KCL солевой суспензии 4,9-6,6.

Оценку экономической эффективности производства пленочных покрытий проводили по методике, описанной О. Н. Гегечкори (2009).

Статистическую обработку результатов экспериментов проводили методом (Лакин, 1990). Расчеты и построение таблиц осуществляли с помощью программы «Microsoft Office Excel 2010», входящей в пакет программ «Microsoft Office 2010».

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ**

### **Подбор композиционной смеси для создания пленочных покрытий**

Для создания пленочных покрытий были подобраны полисахариды – ксантан, КМЦ и хитозан. Кроме того, изучены реологические свойства растворов ксантана и КМЦ в разных концентрациях, как по отдельности, так и в составе композитной смеси.

В результате исследований нами было приготовлено пленочное покрытие № 1 в нашей модификации, а в качестве аналога было взято пленочное покрытие, разработанное по методу М. Н.

Денисовой (2014), компонентный состав данных покрытий был одинаков, но отличался концентрациями. Преимуществом пленочного покрытия № 1 стало то, что его раствор имел более вязкую консистенцию, но при этом сохранился такой существенный недостаток, как кислое послевкусие. В ходе дальнейших исследований по внесению изменений в технологию и состав опытных образцов пленок (хитозан заменили на соевый лецитин) нами был модифицирован метод производства упаковочных материалов и получено пленочное покрытие № 2 (Таблица 1).

### **Приготовление пленочных покрытий**

Таким образом, в процессе исследований нами были созданы 2 пленочных покрытия с разными композиционными составами и технологиями приготовления.

*Технология приготовления пленочного покрытия № 1.* Ксантан растворяли в дистиллированной воде при температуре 25 – 27 °С, хитозан растворяли в 3 %-м растворе лимонной кислоты при нагревании до 25 – 27 °С. Затем полученные растворы ксантана и хитозана объединяли и перемешивали до полного растворения образующихся сгустков. Для того чтобы пленка была прочной и равномерно отделялась от подложки, после перемешивания сгустков в полученный раствор добавляли глицерин и 3 %-й раствор карбоксиметилцеллюлозы (Рисунок 1а).

*Технология приготовления пленочного покрытия № 2.* Лецитин растворяли в дистиллированной воде при температуре 90 – 95 °С. Ксантан растворяли в дистиллированной воде при температуре 39 – 41 °С. Карбоксиметилцеллюлозу растворяли в дистиллированной воде при температуре 49 – 53 °С. Затем полученные растворы ксантана и карбоксиметилцеллюлозы объединяли и перемешивали до полного растворения образующихся сгустков. Для того чтобы пленка была прочной, в полученный раствор добавляли глицерин и нагревали до температуры 100 °С. После этого пленочное покрытие охлаждали (Рисунок 1б). Полученные пленки были без цвета и запаха, в случае производственной необходимости их можно окрашивать различными красителями. В зависимости от формы подложки пленки были круглые, прямоугольные, квадратные, с загнутыми краями и т. д. На эксплуатационные свойства пленок вносимые изменения, касающиеся цвета и формы, не влияли.

Дальнейшие исследования проводили с пленочным покрытием № 2, так как пленочное покрытие № 1 имело следующие недостатки: процесс создания был более трудоемким, так как растворение хитозана в органической кислоте занимало длительное время, требовало специального оборудования, а также наличие кислого послевкуся.

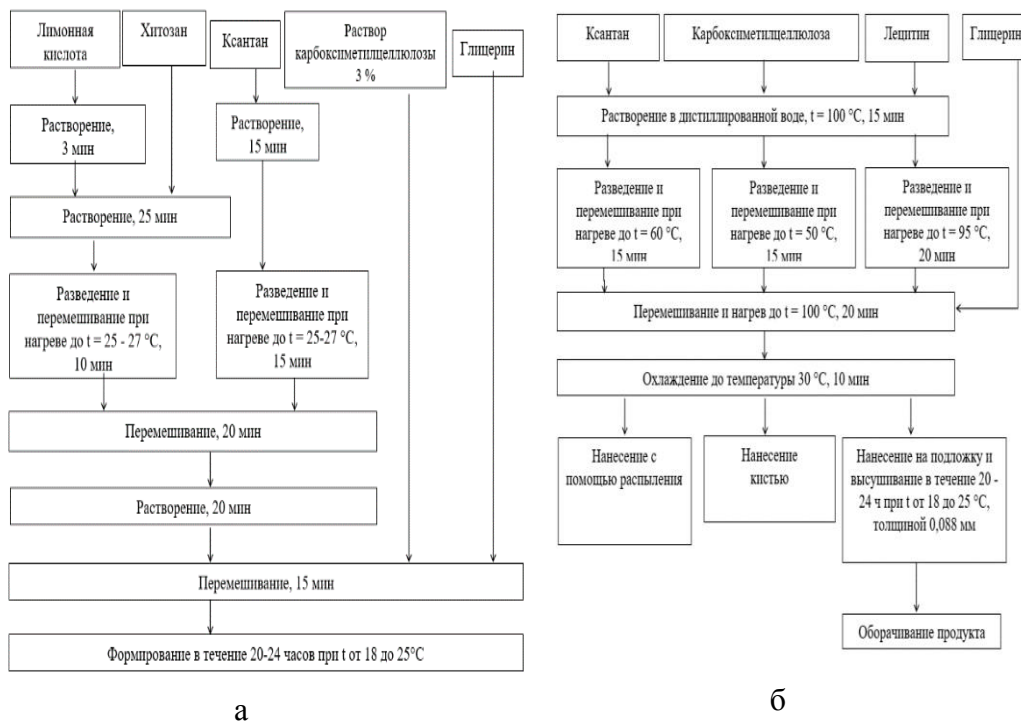


Рисунок 1 – Схема приготовления пленочных покрытий: а – № 1; б – № 2

### Подбор режимов, параметров и соотношение полисахаридов для пленочного покрытия № 2

Изучено влияние нагрева на растворимость растворов ПС с разными соотношениями компонентов. В ходе исследований были приготовлены опытные образцы № 1 – № 17 в следующих соотношениях ксантана и КМЦ – 10:90, 15:85, 20:80, 25:75, 30:70, 35:65, 40:60, 45:55, 50:50, 55:45, 60:40, 65:35, 70:30, 75:25, 80:20, 85:15, 90:10 соответственно, с пределом отклонений  $\pm 2$  %. В результате исследований были выбраны три образца – 3, 5 и 10. Соевый лецитин добавляли в количестве 6 г/л при температуре

100 °С, так как при его большей дозировке изменялся цвет растворов, а при меньшей готовое покрытие было менее гибким.

На основе пленочного покрытия № 2 были приготовлены опытные образцы упаковок в зависимости от способов нанесения на продукт, так для распыления был подобран образец 3; для нанесения кистью – образец 5; для оборачивания – образец 10 (Таблица 1).

Таблица 1 – Состав пленочного покрытия № 2 в зависимости от способов нанесения

Компоненты	Образец 3	Образец 5	Образец 10
Ксантан, %	0,60 ± 0,02	0,90 ± 0,01	1,61 ± 0,01
КМЦ, %	2,73 ± 0,02	2,05 ± 0,01	1,38 ± 0,01
Лецитин, %	2,40 ± 0,01	2,40 ± 0,01	2,40 ± 0,02
Глицерин, %	5,00 ± 0,01	5,00 ± 0,02	5,00 ± 0,02
Вода, %	90,47 ± 0,01	90,85 ± 0,02	90,81 ± 0,02

В ходе эксперимента отмечено, что концентрация полисахаридов влияет на внешний вид пленочных покрытий (в зависимости от толщины пленочного покрытия они получаются прозрачными или немного мутноватыми), чем больше концентрация полисахаридов, тем более выражены пузырьки воздуха в них (Рисунок 2).

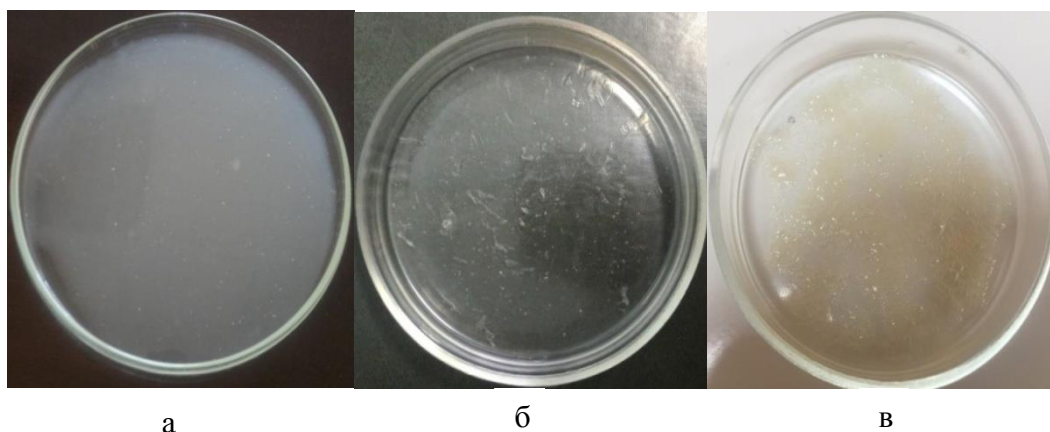
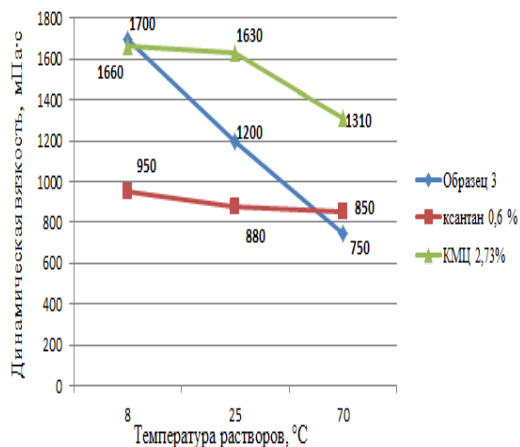


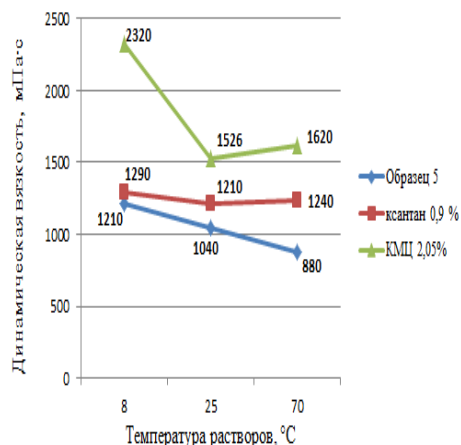
Рисунок 2 – Внешний вид пленочных покрытий № 2: а – образец 3; б – образец 5, в – образец 10

## Структурно-механические свойства пленочных покрытий

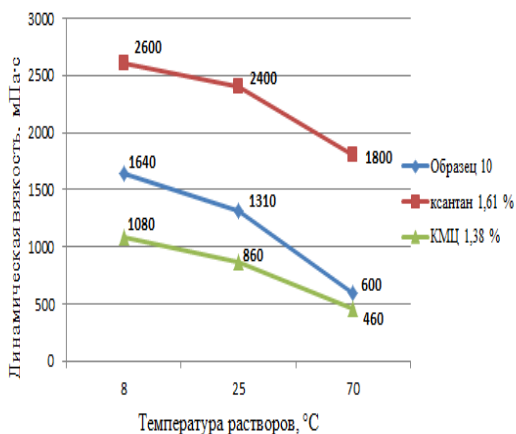
В ходе исследований нами были определены реологические свойства растворов: ксантана в концентрации 0,60 %, 0,90 %, 1,61 %; КМЦ в концентрации 2,73 %, 2,05 %, 1,38 % и образцы 3, 5, 10 пленочного покрытия № 2.



а



б



в

Рисунок 3 – Динамическая вязкость растворов пленочных покрытий: а – образец 3; б – образец 5; в – образец 10

Раствор образца 3 имел меньшую динамическую вязкость по сравнению с растворами полисахаридов – 0,60 %-го раствора ксантана и 2,73 %-го раствора КМЦ, но являлся более эластичным. Это связано с тем, что процесс гелеобразования ксантановой камеди возможен при использовании его в комбинации с КМЦ. Температура гелеобразования КМЦ выше комнатной температуры, но за счет эффекта синергизма полисахаридов температура гелеобразования композитной смеси снижалась до комнатной температуры.

У раствора образца 5 благодаря эффекту синергизма при температуре + 25 °С наблюдали падение динамической вязкости в сравнении с растворами полисахаридов 0,90 %-го раствора ксантана и 2,05 %-го КМЦ. При этом при нагревании до температуры + 70 °С у раствора опытного образца 5 было отмечено повышение вязкости за счет усиления структурообразовательных свойств ксантана в композитной смеси.

У раствора образца 10 отмечалась схожая динамика с раствором КМЦ (1,38 %-го) при нагреве до + 25 °С, при этом при повышении температуры до + 70 °С у раствора опытного образца 10 динамическая вязкость уменьшилась в 0,33 раза по сравнению с 1,61 %-м раствором ксантановой камеди. Опытный образец 10 после застывания был эластичным.

В результате структурно-механических исследований были определены такие важные показатели качества любого пленочного покрытия как прочность, растяжимость и толщина. Исследуемые показатели опытных образцов 3, 5 и 10, приготовленных на основе пленочного покрытия № 2 с разной концентрацией полисахаридов и контроля (коммерческая пищевая полиэтиленовая пленка фирмы «Фрекен БОК», Россия), представлены в таблице 2.

Таким образом, как видно из данных таблицы 2, разработанные пленочные покрытия, созданные на основе полисахаридов, по некоторым физическим свойствам были сопоставимы и даже превосходили пищевую полиэтиленовую пленку, а именно у образца 5 прочность выше на 0,16 Па при толщине, меньшей почти в 2 раза. В ходе эксперимента увеличение толщины пленочного покрытия почти в 2 раза у образца 10 улучшило растяжимость на 4,64 мм по сравнению с коммерческой пленкой.

Таблица 2 – Структурно-механические показатели исследуемых образцов пленочных покрытий

Пленочные покрытия	Метод нанесения	Прочность, Па	Растяжимость, мм	Толщина, мм
Контроль	оборачивание	3,12	12,48	0,040
Пленочное покрытие № 2				
Образец 3	распыление	2,10	10,83	0,012
Образец 5	кисть	3,28	12,48	0,019
Образец 10	оборачивание	3,05	17,12	0,088

### Исследование биodeградability пленочных покрытий

Для исследования биodeградации пленочные покрытия размером 2 x 2 см помещали в почву при естественных условиях (температура воздуха  $21 \pm 2$  °C, влажность воздуха 60 %).



а



б

Рисунок 4 – Биodeградация пленочного покрытия № 1: а – через 1 день; б – через 7 дней



а



б

Рисунок 5 – Биodeградация пленочного покрытия № 2: а – через 1 день; б – через 7 дней

На второй день изменилась целостность пленок – образовались более мелкие куски, на четвертые сутки размеры опытных образцов уменьшились, на седьмой день пленочные покрытия полностью разлагались в почве (Рисунок 4, 5). Скорость разложения зависела от толщины пленочного покрытия и влажности почвы, а также наличия в ней почвенных бактерий.



### **Способы нанесения пленочных покрытий на сельскохозяйственную продукцию**

В зависимости от способов нанесения и природы продукта были разработаны опытные образцы пленочных покрытий 3, 5 и 10, отличающиеся по составу и свойствам. Способ распыления рекомендуется нами как оптимальный для различной продукции переработки сельскохозяйственного сырья, в том числе пищевой, кормовой и др. Это связано с экономным расходом пленочного покрытия. Способ нанесения кистью рекомендуется, например, для хлебобулочных и кондитерских изделий из-за возможности регулирования толщины наносимого пленочного покрытия. Оборачивание предлагается для штучных товаров и продуктов в качестве первичной упаковки.

### **Влияние пленочных покрытий на сельскохозяйственную продукцию**

*Плодоовощная продукция.* Было изучено влияние образца 5 пленочного покрытия № 2 (нанесение кистью) на картофель, грушу и шампиньоны в процессе хранения при температуре – 18 °С. Для этого образцы с нанесенным пленочным покрытием помещали в закрытую емкость и хранили в морозильной камере на протяжении 8 недель. Результаты экспериментов показали, что нанесение пленки положительно влияет на органолептические показатели продукта: сохраняется форма, аромат, цвет. Экспериментально было доказано, что пленочное покрытие позволяет сократить потери массы продуктов при замораживании: «Шампиньоны зачищенные, нарезанные ломтиками» на 6 %; «Груша, нарезанная ломтиком» на 14 %; «Картофель сырой, очищенный, нарезанный брусочками» на 37 % (Рисунок 6а). Также нами было отмечено, что пленочные покрытия предотвращают развитие микроорганизмов. Так, в опытных образцах плодоовощной продукции после 1-х суток хранения количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ), а также клеток дрожжей и спор плесеней меньше, чем в контрольных образцах. В процессе дальнейшего хранения на 30-е и 105-е сутки отмечалась общая динамика роста микроорганизмов, как в опытных, так и в контрольных образцах. Однако рост колоний изучаемых микроорганизмов в опытных образцах был ниже, чем в контрольных, при одних и тех же сроках хранения. Бактерии группы кишечной

палочки (БГКП) в контрольных и опытных образцах не были обнаружены на протяжении всего эксперимента.

*Хлебобулочные и кондитерские изделия.* Нанесение пленочных покрытий на хлебобулочные изделия проводили кистью однократно (до выпекания) и двукратно (до и после выпекания). Для кондитерских изделий из слоеного теста «Круассан» пленочные покрытия наносили также двукратно (до и после выпекания) и еще раз после тепловой обработки через 10 минут. В ходе проведенных исследований нами было показано, что двукратное нанесение на поверхности хлебобулочных и кондитерских изделий уменьшило потери массы в процессе хранения в среднем на 2 % (Рисунок 6б). При нанесении пленочных покрытий было показано, что при нажатии на поверхность изделия форма восстанавливалась значительно быстрее, чем у контрольного образца (без пленочных покрытий) на 10 сек. Также были проведены исследования по изучению влияния биопленочного покрытия на микробиологические показатели хлебобулочных и кондитерских изделий в процессе хранения при температуре 20 – 25 °С. В результате проведенных исследований было отмечено, что через 48 и 72 часа был замечен рост КМАФАнМ как в контрольных, так и опытных образцах, однако в образцах с пленочным покрытием их количество было в 100 раз меньше. Бактерий группы кишечной палочки, *S. aureus*, бактерий рода *Proteus* не было выявлено в течение 72 часов.

*Продукция животного происхождения.* В процессе исследований нами было отмечено: при охлаждении свинины и карпа, упакованных в биокоррегируемую пленку, потери массы сократились на 5 и 6 % (Рисунок 6в), а срок хранения увеличился на 72 и 48 часов соответственно. Увеличение срока хранения опытных образцов связано с результатами микробиологических исследований, в ходе которых было выявлено, что в опытных образцах рост КМАФАнМ и БГКП был на порядок ниже, чем в контроле.

### **Оценка экономической эффективности технологии**

Расчетный срок окупаемости составил 0,42 года при рентабельности вырабатываемой продукции 40 % и объеме выработки готового пленочного покрытия образцов 3, 5, 10 по 75 т каждого в год.

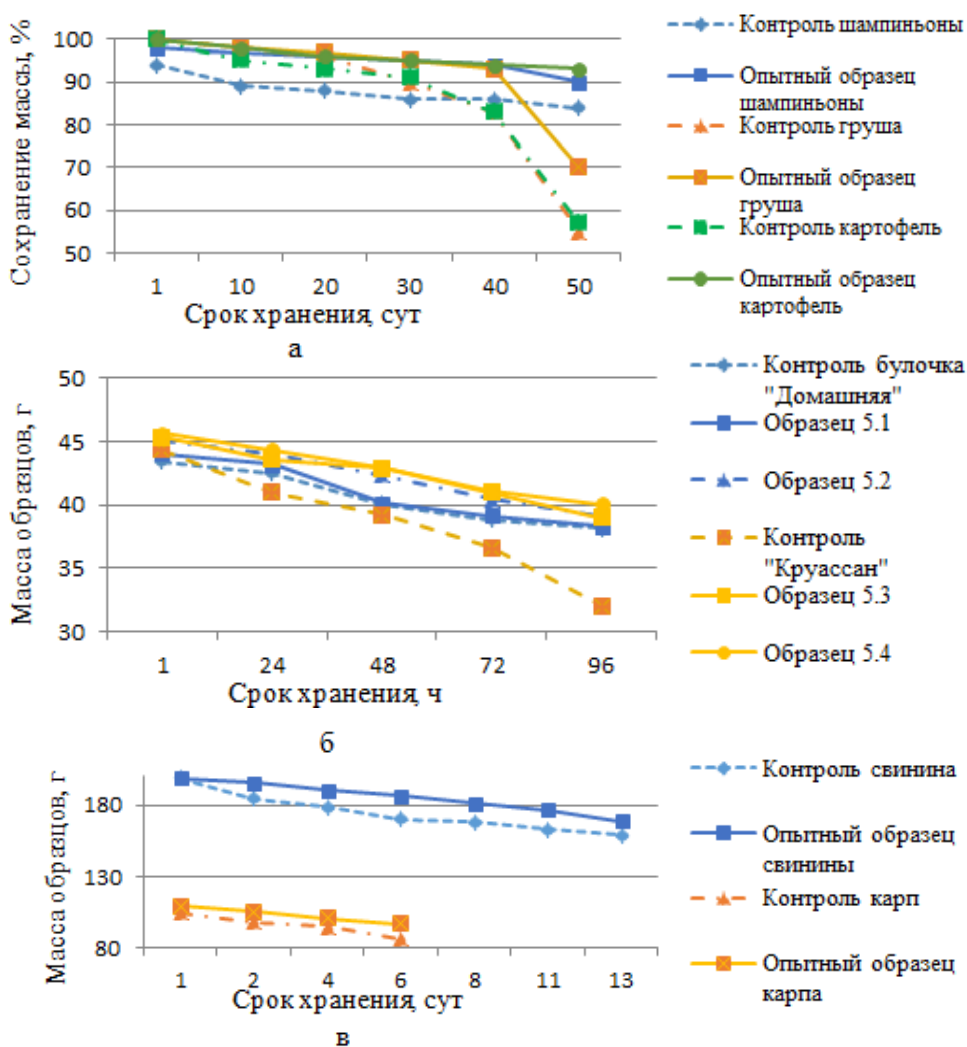


Рисунок 6 – Изменение массы в процессе хранения: а – замороженных продуктов растительного происхождения; б – хлебобулочных и кондитерских изделий; в – продуктов животного происхождения

### Заключение

В результате проведенных исследований было установлено, что разработанные пленочные покрытия, созданные на основе полисахаридов – ксантана и КМЦ по некоторым физическим свойствам сопоставимы и даже превосходят пищевую полиэтиленовую пленку, а также положительно влияют на продукты питания, т. е. являются конкурентоспособными, и в перспективе их можно применять для хранения сельскохозяйственных продуктов.

### Выводы

1. Разработан способ приготовления пленочных покрытий на основе полисахаридов (ксантан и КМЦ) в зависимости от способа нанесения на продукты питания. Для способа нанесения распылением – 0,60 и 2,73 %, кистью – 0,90 и 2,05 %, оборачивание вокруг продукта – 1,61 и 1,38 % соответственно.
2. Определены физико-химические и структурно-механические свойства пленочных покрытий на основе ксантана и КМЦ – 0,60 % 2,73 % динамическая вязкость составила – 1700 мПа·с, прочность – 2,1 Па, растяжимость – 10,83 мм, толщина – 0,019 мм; на основе ксантана и КМЦ – 0,90 и 2,05 % динамическая вязкость составила – 1210 мПа·с, прочность 3,28 Па, растяжимость – 12,48 мм, толщина – 0,012 мм; на основе ксантана и КМЦ 1,61 и 1,38 % динамическая вязкость составила – 1640 мПа·с, прочность – 3,05 Па, растяжимость – 17,12 мм, толщина – 0,088 мм.
3. Образцы продуктов с нанесенным пленочным покрытием обладали лучшими органолептическими показателями и способствовали сокращению потери массы продуктов при замораживании: шампиньонов на 6 %; груши на 14 %; картофеля на 37 %; булочки «Домашняя» и «Круассан из слоеного теста» на 2 %; свинины на 5 %, карпа на 6 %.
4. Применение пленочных покрытий пролонгирует сроки хранения: шампиньонов с 12 до 18 месяцев, картофеля с 18 до 24 месяцев, булочки «Домашняя» и «Круассан из слоеного теста» с 72 до 96 часов; свинины с 48 часов до 120 часов, карпа с 24 до 48 часов.
5. Пленочные покрытия способны полностью разлагаться в почве через 7 суток.
6. Экономический эффект от внедрения разработки при производстве 225 т продукции в год при уровне рентабельности 40 %.

### Практические предложения

1. Для получения пленочного покрытия с заданными свойствами необходимо предварительно растворить ксантан и КМЦ в воде при температуре 60 °С.
2. Пленочное покрытие, приготовленное на основе полисахаридов – ксантана (0,60 %) и КМЦ (2,73 %) рекомендуется для распыления на любые мелкоштучные продукты и товары.

3. Пленочное покрытие, приготовленное на основе полисахаридов – ксантана (0,90 %) и КМЦ (2,05 %) рекомендуется для штучных продуктов и товаров с низким содержанием влаги.
4. Пленочное покрытие, приготовленное на основе полисахаридов – ксантана (1,61 %) и КМЦ (1,38 %) рекомендуется для оборачивания штучных продуктов и товаров.
5. Для применения в кондитерской и хлебобулочной промышленности рекомендуется наносить пленочные покрытия до и после выпечки изделий.

### **Перспективы дальнейших разработок пленочных покрытий**

Настоящие исследования могут являться основой для создания «умных» упаковочных материалов для сельскохозяйственной продукции, за счет увеличения сроков хранения, улучшения и сохранения первоначальных свойств товаров, а также не наносящих вред окружающей среде.

### **Список работ, опубликованных по теме диссертации**

*В издании из международной базы данных*

1. Beloglazova, K. The effect of biodegradable polymer packaging on the quality of bakery products / K. Beloglazova, G. Rysmukhambetova, L. Karpunina, N. Konik, D. Ivanov // Indo American Journal of Pharmaceutical Sciences. – 2019. – V. 6, N. 3. – P. 6256-6259.
2. Giro, T. Xanthan-based biodegradable packaging for fish and meat products / T. Giro, K. Beloglazova, G. Rysmukhambetova, I. Simakova, L. Karpunina, A. Rogojin, A. Kulikovsky, S. Andreeva // Foods and Raw Materials. – 2020. – V. 8, N. 1. – P. 67-75.

*Патенты*

3. Патент 2662008 Российская Федерация, МПК C08L 5/00 Биоразлагаемое пищевое пленочное покрытие / К.Е. Белоглазова, А.А. Ульянин, А.Д. Горневская, Палагин В.И., Рысмухамбетова Г.Е., Горельникова Е.А., Карпунина Л.В., заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова». - № 2017142702; заявл. 07.12.2017.; опубл. 23.07.2018., Бюл. № 21 – 8 с.

*В сборниках, материалах конференций и в других изданиях*

4. Белоглазова, К.Е. Использование полисахаридных биоразлагаемых материалов для первичной упаковки пищевых продуктов / К.Е. Белоглазова, Г.Е. Рысмухамбетова, Л.В. Карпунина, Н.В. Коник // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 2019. – № 1 (367). – С. 61-64.

5. Белоглазова, К.Е. Технологические аспекты применения пищевого пленочного покрытия на основе полисахаридов / К.Е. Белоглазова, М.Н. Денисова, Е.Н. Бухарова, Л.В. Карпунина, Г.Е. Рысмухамбетова // Биотехнологии в комплексном развитии регионов: материалы Международной научно-практической конференции, 15-17 марта 2016. – М.: ООО «Экспо-биохим-технологии» ООО «Рэд групп», 2016. – С. 20-21.

6. Белоглазова, К.Е. Создание и применение новых упаковочных материалов из биоразлагаемых полимеров на основе полисахаридов / К.Е. Белоглазова, Г.Е. Рысмухамбетова // Молодые ученые Саратовского государственного аграрного университета имени Н.И. Вавилова – агропромышленному комплексу России: сборник научных работ / под ред. И.Л. Воротникова. – Саратов: ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ, 2016. – С. 15-19.

7. Белоглазова, К.Е. Разработка биополимерной упаковки для пищевой промышленности / К.Е. Белоглазова, А.Д. Горневская, А.А. Ульянин, Г.Е. Рысмухамбетова // Инновационные идеи молодых исследователей для агропромышленного комплекса России: сборник статей Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, 23-24 марта 2017. – Пенза: РИО ПГАУ, 2017. – Т. II. – С. 176-178.

8. Белоглазова, К.Е. Разработка пищевых упаковочных материалов из биополимеров / К.Е. Белоглазова, А.Д. Горневская, А.А. Ульянин, Г.Е. Рысмухамбетова, Л.В. Карпунина // Актуальная биотехнология. – 2017. – № 2 (21). – С. 276-277.

9. Белоглазова, К.Е. Применение пленочных покрытий для продуктов растительного происхождения / К.Е. Белоглазова, А.Д. Горневская, А.А. Ульянин, Г.Е. Рысмухамбетова // Современные проблемы и тенденция развития агропромышленного комплекса: материалы Международной научной конференции студентов, аспирантов и учащейся молодежи, 23-24 апреля 2017. – Казань: Казанская ГАВМ, 2017. – С. 186-188.

10. Белоглазова, К.Е. Технологические аспекты получения и применения пищевых биодеградабельных пленочных покрытий / К.Е. Белоглазова, А.Д. Горневская, А.А. Ульянин, М.Н. Денисова, Г.Е. Рысмухамбетова, Л.В. Карпунина, М.В. Белова // Девятый Саратовский салон изобретений, инноваций и инвестиций. – Саратов: Саратов.гос.техн.ун-т, 2017. – С. 168-169.
11. Белоглазова, К.Е. Съедобная биоупаковка / К.Е. Белоглазова, А. Д. Горневская, А. А.Ульянин, В.И. Палагин, Г.Е. Рысмухамбетова, Л.В. Карпунина // Приоритеты и научное обеспечение реализации государственной политики здорового питания в России: материалы V Международной научно-практической интернет-конференции / под общей редакцией д-ра техн. наук, доц. Г.А. Осиповой, к-та техн. наук, доц. Н.А. Березиной, 15 ноября – 15 декабря 2017. – Орел: ОГУ имени И.С. Тургенева, 2017. – С. 220-224.
12. Белоглазова, К.Е. Экономическая целесообразность применения биопленок в пищевой промышленности / К.Е. Белоглазова, А.А. Ульянин, А.Д. Горневская, В.И. Палагин, Г.Е. Рысмухамбетова, Л.В. Карпунина // Новое в технологии и технике функциональных продуктов питания на основе медико-биологических воззрений: материалы VI Международной научно-технической конференции, 11-12 декабря 2017. – Воронеж: ВГУИТ, 2017. – С. 161-164.
13. Белоглазова, К.Е. Расширение ассортимента биодеградабельных пищевых пленок / К.Е. Белоглазова, А.Д. Горневская, А.А. Ульянин, Г.Е. Рысмухамбетова // Проблемы производства и переработки органической (экологически чистой) продукции животноводства, птицеводства, пчеловодства и растениеводства: сборник статей Международной научно-практической конференции, 5-7 ноября 2017. – Уральск: ЗКФ АО «НЦГИТЭ», 2017. – С. 114-116.
14. Белоглазова. К.Е. Практические аспекты создания съедобных упаковок / К.Е. Белоглазова, А.Д. Горневская, А.А. Ульянин, В.И. Палагин, Г.Е. Рысмухамбетова, Л.В. Карпунина // VII Всероссийская неделя науки с международным участием «Week of Russian science – 2018». Режим доступа: <https://medconfer.com/journal>.
15. Горневская, А.Д. Практическое применение биодеградабельного пищевого пленочного покрытия / А.Д. Горневская, К.Е. Белоглазова, А.А. Ульянин, В.И. Палагин, Г.Е. Рысмухамбетова, Л.В. Карпунина // Биотехнология: состояние и перспективы развития: материалы Международного форума, 23-25 мая 2018. – М.: ООО «Русские Экспо Дни Групп», 2018. – С. 663-664.

16. Белоглазова, К.Е. Анализ способов нанесения биопленочного покрытия на продукты питания / К.Е. Белоглазова, А.А. Ульянин, А.Д. Горневская, В.И. Палагин, Г.Е. Рысмухамбетова, Л.В. Карпунина // Гигиена, экология и риски здоровью в современных условиях: материалы Межрегиональной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов, 14 мая 2018. – Саратов, 2018. – С. 28-31.
17. Кащенко, В.Ф. Защитная среда для хранения очищенного картофеля / В.Ф. Кащенко, К.Е. Белоглазова, Г.Е. Рысмухамбетова // Новые подходы к разработке технологий производства и переработки сельскохозяйственной продукции: материалы Международной научно-практической конференции Волгоградского института управления филиала, 6-7 июня 2018. Волгоград: РАНХиГС, 2018. – С. 432-434.
18. Белоглазова, К.Е. Характеристика некоторых свойств пленочных покрытий / К.Е. Белоглазова, А.А. Ульянин, А.Д. Горневская, В.И. Палагин, Г.Е. Рысмухамбетова, Л.В. Карпунина // Пищевые технологии и биотехнологии: материалы XVI Всероссийской конференции молодых ученых, аспирантов и студентов с международным участием, посвященная 150-летию Периодической таблицы химических элементов, 16-19 апреля 2019. Казань: КНИТУ, 2019. – Т.3. – С. 72-74.
19. Beloglazova, K. The effect of biodegradable polymer packaging on the quality of bakery products / K. Beloglazova, G. Rysmukhambetova, L. Karpunina, N. Konik, D. Ivanov // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2019. – V. 10, N. 2. – P. 747-752.
20. Белоглазова, К.Е. Биодegradабельные свойства пищевых биоупаковочных материалов / Белоглазова К.Е., Иснюк А.Д., Ульянин А.А., Рысмухамбетова Г.Е. // Инновационное развитие пищевой, легкой промышленности и индустрии гостеприимства материалы Международной научно-практической конференции 24-25 октября 2019 года. – Алматы, 2019. – С. 115 – 117.
21. Белоглазова, К.Е. Влияние биодegradабельной полимерной упаковки на качество мясных продуктов / Белоглазова К.Е., Ульянин А.А., Горневская А.Д., Рогожин А.А. // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 2019. – № 4 (370). – С. 57-60.