

## Влияние упаковочных материалов из биоразлагаемой и полипропиленовой пленки на сохранность желейного мармелада

М. А. Пестерев<sup>1,\*</sup>, О. С. Руденко<sup>1</sup>, Н. Б. Кондратьев<sup>1</sup>,  
А. Е. Баженова<sup>1</sup>, И. С. Усачев<sup>2</sup>



<sup>1</sup> Всероссийский научно-исследовательский институт кондитерской промышленности, 107023, Россия, г. Москва, ул. Электрозаводская, 20

<sup>2</sup> Всероссийский научно-исследовательский институт крахмалопродуктов, 140051, Россия, Московская обл., Красково, ул. Некрасова, 11

Дата поступления в редакцию: 19.08.2020  
Дата принятия в печать: 30.09.2020

\*e-mail: mb-niikp@mail.ru



© М. А. Пестерев, О. С. Руденко, Н. Б. Кондратьев, А. Е. Баженова, И. С. Усачев, 2020

### Аннотация.

**Введение.** Одной из основных экологических мировых проблем является нерациональное обращение с отходами, в том числе использование плохо разлагаемой полимерной упаковки. Одним из вариантов решений по утилизации полимерных отходов от упаковок пищевых продуктов является создание биоразлагаемых материалов на основе композиции нативных и модифицированных крахмалов, не наносящих при разложении вред окружающей среде и здоровью человека.

**Объекты и методы исследования.** В работе исследовали сохранность кондитерских изделий студнеобразной консистенции, упакованных в биоразлагаемую и полипропиленовую пленку. Изучены процессы влагопереноса и динамика роста микробиоты в желейном мармеладе, глазированном кондитерской глазурью. Мармелад был упакован в пленку на основе ориентированного полипропилена с толщиной 40 мкм, а также в биоразлагаемую пленку толщиной 50 мкм. В процессе хранения в глазированном желейном мармеладе определяли массовую долю влаги, активность воды, жирнокислотный состав жировой фракции глазури, активную кислотность, микробиологические показатели, а также оценивали активность липазы образца.

**Результаты и их обсуждение.** Активность воды в процессе хранения практически не изменилась. Удельная скорость влагопереноса для образцов, упакованных в полипропиленовую пленку, была больше в 1,4 раза, чем у образцов мармелада, упакованных в биоразлагаемую пленку, и составила для упаковки из полипропиленовой пленки  $1,16 \times 10^{-6}$  г/м<sup>2</sup>·с, а из биоразлагаемой упаковки –  $0,83 \times 10^{-6}$  г/м<sup>2</sup>·с. Динамика роста КМАФАнМ, плесеней и дрожжей не различалась у образцов мармелада, упакованных в полипропиленовую и в биоразлагаемую пленку, и после 12 недель хранения не превышала регламентируемых показателей микробиологической безопасности. Увеличение активности липазы при хранении образцов глазированного мармелада, упакованного в различные полимерные пленки, не наблюдалось. Замена полипропиленовой пленки на биоразлагаемую не оказывает существенного влияния на показатели безопасности кондитерских изделий.

**Выводы.** Результаты исследований подтверждают возможность использования биоразлагаемой пленки для упаковки кондитерских изделий.

**Ключевые слова.** Мармелад, хранение, упаковка, массовая доля влаги, активность воды, липаза, микробиологические показатели

**Финансирование.** Работа выполнена на базе Всероссийского научно-исследовательского института кондитерской промышленности – филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В. М. Горбатова» РАН (ВНИИКП).

**Для цитирования:** Влияние упаковочных материалов из биоразлагаемой и полипропиленовой пленки на сохранность желейного мармелада / М. А. Пестерев, О. С. Руденко, Н. Б. Кондратьев [и др.] // Техника и технология пищевых производств. – 2020. – Т. 50, № 3. – С. 536–548. DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-3-536-548>.

Original article

Available online at <http://fptt.ru/eng>

## Effect of Biodegradable and Polypropylene Film Packaging on the Safety Profile of Jelly Marmalade

Mikhail A. Pesterev<sup>1,\*</sup>, Oxana S. Rudenko<sup>1</sup>, Nikolay B. Kondrat'ev<sup>1</sup>,  
Alla E. Bazhenova<sup>1</sup>, Ivan S. Usachev<sup>2</sup>

Received: August 19, 2020

Accepted: September 30, 2020

\*e-mail: mb-niikp@mail.ru



© M.A. Pesterev, O.S. Rudenko, N.B. Kondrat'ev, A.E. Bazhenova, I.S. Usachev, 2020

## Abstract.

**Introduction.** Waste management and poorly degradable polymer packaging are one of the main environmental issues. Biodegradable materials based on a composition of native and modified starches can solve the problem of polymer waste in food packaging. They are environmentally friendly and harmless during decomposition. However, the barrier properties of biodegradable films still remain understudied.

**Study objects and methods.** The research featured the safety profile of gelatinous confectionery products during storage in biodegradable and polypropylene films. It focused on moisture transfer and microbiota growth in glazed jelly marmalade. The first sample was wrapped in oriented polypropylene film (40 microns), while the other sample was packaged in a biodegradable film (50 microns). A set of experiments was conducted to measure the mass fraction of moisture, water activity, fatty acid composition of the fat fraction of the glaze, active acidity, microbiological parameters, and lipase activity during storage.

**Results and discussion.** The activity of water during storage remained the same. The specific rate of moisture transfer for the polypropylene film sample was approximately 1.4 times higher than for the biodegradable sample. It equaled  $1.16 \times 10^{-6}$  g/m<sup>2</sup>·s for the polypropylene film sample and  $0.83 \times 10^{-6}$  g/m<sup>2</sup>·s for the biodegradable sample. The dynamics of growth of QMAFAnM, mold, and yeast was the same in both samples; it did not exceed the regulated indicators of microbiological safety after 12 weeks of storage. The lipase activity of the glazed marmalade samples packed in the polymer film did not increase during storage. Replacing the polypropylene film with a biodegradable film did not significantly affect the safety profile of confectionery products.

**Conclusion.** Research results confirmed the possibility of using a biodegradable film for packaging confectionery products.

**Keywords.** Marmalade, storage, packaging, moisture content, water activity, lipase, microbiological indicators

**Funding.** The research was performed on the premises of the All-Russian Research Institute of Confectionery Industry, Branch of V.M. Gorbatov Federal Research Center for Food System of Russian Academy of Sciences (VNIKIP).

**For citation:** Pesterev MA, Rudenko OS, Kondrat'ev NB, Bazhenova AE, Usachev IS. Effect of Biodegradable and Polypropylene Film Packaging on the Safety Profile of Jelly Marmalade. Food Processing: Techniques and Technology. 2020;50(3):536–548. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-3-536-548>.

## Введение

При увеличении объема производства упаковочных материалов из плохо разлагающихся полимерных материалов становятся актуальными вопросы разрушения полимерных отходов и защиты экологической чистоты окружающей природы при обеспечении комплексного и рационального природопользования. Одной из основных экологических мировых проблем является обращение с отходами, в том числе использование полимерной упаковки. В 2018 г. Европейским парламентом на основе ранних постановлений была разработана стратегия, цель которой к 2030 г. полностью перейти на производство полимерной упаковки пригодной для повторного использования или упаковки, свойства которой позволяют обеспечить быстрое разложение составляющих материалов [1–5]. Поэтому в настоящее время активно проводятся исследования по разработке технологии производства биоразлагаемых полимерных биогибридных композиций и изделий на их основе.

Крупные производители продуктов питания, такие как Nestle S.A., The Coca-Cola Company, Danone и др., инвестируют значительные средства

в развитие исследований новых видов материалов и проводят программы по замене пластиковой и других видов упаковок своих продуктов на упаковку, которая пригодна для переработки или повторного использования [6–9].

Важным фактором использования биоразлагаемой упаковки является ее утилизация. Одним из вариантов решений по утилизации полимерных отходов от упаковок пищевых продуктов является разработка новых биоразлагаемых материалов. Воздействие продуктов разложения таких материалов оказывает минимальный вред природной среде и здоровью человека [10–14].

Биоразлагаемые полимеры содержат высокомолекулярные соединения, в том числе продукты жизнедеятельности организмов, такие как белок, целлюлоза, крахмал и др. Они могут разрушать экологические системы окружающей среды. В природной среде такие полимеры претерпевают значительные изменения. Например, они гидролизуются под действием воды или окисляются кислородом воздуха. При этом изменяются их физические характеристики. Также такие полимеры могут служить субстратом для роста определенных видов микроорганизмов.

Наибольший интерес среди множества полимеров природного происхождения вызывает крахмал, который накапливается в разных частях многих видов растений, в том числе в клубнях, семенах, стеблях и листьях. Крахмал характеризуется практически полной биоразлагаемостью и воспроизводимостью в растениях. Поэтому он был использован в качестве основного сырья при обосновании основы для изготовления биоразлагаемых материалов [15–23]. Крахмал различается по происхождению. Для его производства используют картофель, рис, пшеницу или кукурузу.

Много усилий ученых тратится на разработку биоразлагаемых полимеров с целью сохранения нефтехимических ресурсов и уменьшения ущерба окружающей среды. При хранении таких материалов в природных условиях протекают гидролитические процессы и разрушение биоразлагаемых полимеров под действием света и ультрафиолетового воздействия в естественном круговороте веществ окружающей природы.

Главной особенностью биоразлагаемых полимеров на основе термопластичного крахмала является их способность к быстрому разрушению в природной среде, в отличие от плохо разлагаемых полимерных материалов, полученных при переработке нефтехимического сырья [24–27]. Используя различные свойства крахмала и синтетических полимеров, возможно изготовление композитов для использования в биомедицине экологии [15]:

- крахмал с синтетическими полимерами, такими как полиэтилен, полипропилен и др.;
- композиция крахмала и природных полимеров;
- термопластичный крахмал, получаемый путем экструзии, и изделия на его основе.

Считается, что одним из главных компонентов для производств относительно недорогих биоразлагаемых материалов является именно термопластичный крахмал [26, 29]. Обязательным условием его изготовления является использование пластификаторов, формирующих Н-связи. Это обеспечивает максимальные прочность, относительное удлинение при разрыве и деструкцию под воздействием микробиологии почвы. Крахмал не является истинным термопластом. Однако при высокой температуре в присутствии пластификаторов крахмал плавится и разжижается. Такие свойства обуславливают возможность его использования для изготовления синтетических пластмасс.

Во ВНИИ крахмалопродуктов – филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В. М. Горбатова» РАН предложено создание биоразлагаемой пленки на основе композиции нативных и модифицированных крахмалов. Также учеными разрабатываются технологии ТПК, дается оценка физико-механических свойств крахмала, разрабатываются оптимальные

составы пленочных композиций с помощью математических моделей на основе полиэтилена (ПЭ) низкой плотности. Полимерная структура крахмала упаковочных материалов разрушается под действием ферментов микроорганизмов почв и других факторов [30].

Для оценки практического применения биоразлагаемой пленки для производства упаковочных материалов необходимы исследования возможности их использования для упаковки различных групп пищевых продуктов, в том числе кондитерских изделий. Установлено влияние толщины полипропиленовой упаковки на изменение массовой доли влаги в кондитерских изделиях с промежуточной влажностью на примере сырцовых пряников. Это подтверждает необходимость изучения барьерных свойств различных пленок, используемых для упаковки [33]. Показаны риски использования жиров лауринового типа при изготовлении кондитерских изделий, упакованных в полипропиленовую пленку с различной толщиной. Рассмотрены факторы, влияющие на скорость влагопереноса, для кондитерских изделий с низкой (менее 10 %) и промежуточной влажностью (от 10 до 20 %). Также рассмотрены вопросы влияния влагоудерживающих добавок и рецептурных компонентов с влагоудерживающими свойствами на сохранность качественных показателей мучных кондитерских изделий в различной упаковке [32–37].

Необходимо отметить, что повышение активности воды изделий приводит к увеличению риска их микробиологической порчи [32]. Особенно это важно для кондитерских изделий, изготовленных с использованием жиров лауринового типа. При протекании гидролитических процессов, катализируемых ферментами группы липаз, из таких жиров образуются в свободном виде лауриновая и миристиновая жирные кислоты, которые отвечают за появление неприятного «мыльного» привкуса даже при их очень низком содержании (0,1 % в пересчете на жировую фракцию изделия) [38, 39].

Для кондитерских изделий, при производстве которых использованы два или несколько полуфабрикатов, необходимо прогнозировать направление и скорость процессов влагопереноса между отдельными частями изделий. В кондитерских изделиях, состоящих из двух и более полуфабрикатов, на границе между отдельными частями изделия возможно увеличение активности воды до 0,75–0,85, т. е. создание благоприятных условий для развития многих микроорганизмов [34].

Увеличение толщины упаковочной пленки прогнозирует уменьшение скорости влагопереноса между кондитерскими изделиями и окружающей атмосферой. Барьерные свойства биоразлагаемых пленок, которые непосредственно оказывают влияние на сохранность различных наименований

кондитерских изделий, еще недостаточно изучены. Поэтому цель данной работы заключалась в исследовании сохранности кондитерских изделий студнеобразной консистенции на примере желейного мармелада, глазированного кондитерской глазурью и упакованного в биоразлагаемую и полипропиленовую пленки.

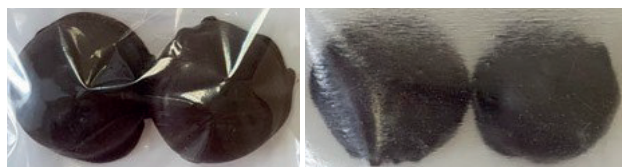
Использование биологически разрушаемых материалов для получения полимерных пленок, отвечающих требованиям качества и разложения под действием окружающей среды и микроорганизмов, требует соблюдения не только критериев прочности, но и безопасности.

Ежегодно в России производится до 200 млн. тонн бытовых отходов. При этом значительную часть отходов (более 50 %) составляют полимерные материалы, использованные на пищевых предприятиях для упаковки и транспортировки продукции. Только 3 % этого объема направляется на переработку, остальное вывозится на свалки. Разнообразие полимерных материалов и отходов требуют поиска наиболее оптимальной технологии для их вторичной обработки.

Таким образом, разработка экологически безопасной упаковки сегодня является актуальной задачей пищевой промышленности, что подтверждено требованиями Технического Регламента Таможенного союза ТР ТС 005/2011 «О безопасности упаковки».

#### Объекты и методы исследования

Объектом исследований стал глазированный желейный мармелад, изготовленный в лаборатории ВНИИ кондитерской промышленности – филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В. М. Горбатова» РАН по классической технологии. Рецепт желейного мармелада включал 610,0 кг сахара белого, 150 кг патоки, 18 кг яблочного пектина, 1,0 кг цитрата натрия и 1,3 кг лимонной кислоты на 1 т готовой продукции (по натуре). В качестве студнеобразователя использован яблочный пектин со степенью этерификации 65 %, обладающий высокой студнеобразующей способностью.



(a)

(b)

Рисунок 1. Внешний вид упакованных образцов глазированного желейного мармелада:

а – полипропиленовая пленка; б – в биоразлагаемая пленка

Figure 1. Appearance of packaged samples of glazed jelly marmalade:  
a – polypropylene film; b – biodegradable film

Затем желейный мармелад глазировали. Кондитерскую глазурь изготавливали в лабораторной шариковой мельнице. Рецепт кондитерской глазури включал 499 кг сахарной пудры, 163 кг какао порошка, 395 кг заменитель масла какао лауринового типа, 4,19 кг лецитина, 1 кг ванилина. В жирнокислотном составе заменителя масла какао жира лауринового типа содержалось 47,1 % лауриновой и 17,8 % миристиновой кислоты.

Образцы мармелада после выстойки были упакованы с использованием двух видов полимерной пленки: полипропиленовая пленка с толщиной 40 мкм и биоразлагаемая пленка на основе крахмала с толщиной 50 мкм. Использована биоразлагаемая пленка, включающая 30 % термопластичного крахмала, нативный кукурузный крахмал высшего сорта и полиэтилен линейный низкой плотности (рис. 1).

Изготовленные изделия соответствовали требованиям ГОСТ 6442-2014 «Мармелад. Общие технические условия (Переиздание)» к желейному мармеладу по органолептическим и физико-химическим показателям. Массовая доля влаги мармелада составила 22,0 %.

Образцы глазированного желейного мармелада хранили при температуре 20 °С и относительной влажности окружающего воздуха 40 % в климатической камере «Climacell 404» (Чехия). Указанные условия хранения соответствуют требованиям ГОСТ 6442-2014 и в наибольшей степени приближены к фактическим условиям хранения.

Массовую долю влаги определяли в соответствии с ГОСТ 5900-2014 «Изделия кондитерские. Методы определения влаги и сухих веществ (Переиздание)».

Активность воды определяли на приборе AquaLab (Decagon Devices, США) по ГОСТ ISO 21807-2015 «Микробиология пищевой продукции и кормов. Определение активности воды».

Жирнокислотный состав жировой фракции глазури определяли на газовом хроматографе HP 4890D (США) в соответствии с ГОСТ Р 51483-99 «Масла растительные и жиры животные. Определение методом газовой хроматографии массовой доли метиловых эфиров индивидуальных жирных кислот к их сумме».

Активную кислотность определяли по ГОСТ 5898-87 «Изделия кондитерские. Методы определения кислотности и щелочности (с Изменением N 1)» с использованием рН-метра-иономера И-500 (Россия).

Активность липазы оценивали по десятибалльной системе по изменению окраски специально обработанной бумажной основы по методу ВНИИ кондитерской промышленности, основанному на окислении индоксилацетата (Sigma Aldrich) в термостате при температуре 37 °С (MIR-262, Sanyo, Япония).

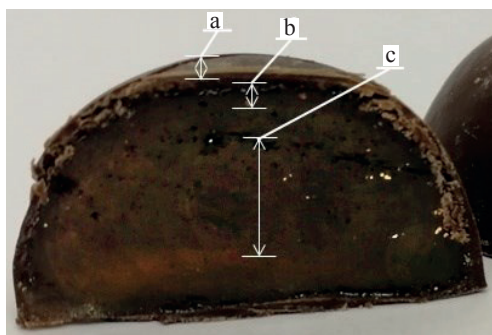


Рисунок 2. Желейный глазированный мармелад: а – глазурь; b – слой под глазурью; с – мармелад

Figure 2. Glazed jelly marmalade: a – glaze; b – the layer under the glaze; c – marmalade

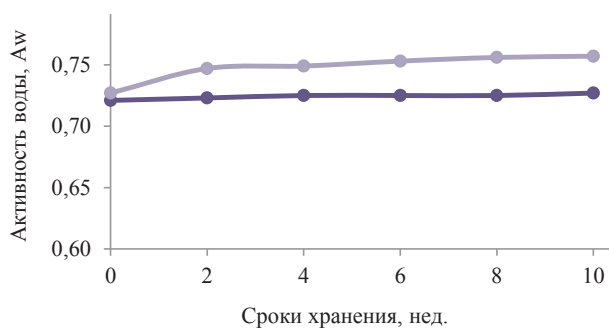
При проведении исследований использовали индоксилацетат (Sigma Aldrich). Отсутствие активности липазы оценивали как 0–1 балл. Наибольшая активность соответствовала 8–10 баллам.

Микробиологические показатели КМАФАнМ (количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов) определяли в соответствии с ГОСТ 10444.15-94, количество плесеней устанавливали по ГОСТ 10444.12-2013, количество спорообразующих мезофильных анаэробных бактерий определяли по п. 6.4 и 6.5 ГОСТ 32012-2012 «Молоко и молочная продукция. Методы определения содержания спор мезофильных анаэробных микроорганизмов (Издание с Поправкой)».

Математическую обработку результатов и построение графиков проводили в программе MS Excel 2010.

### Результаты и их обсуждение

Для оценки влияния видов полимерной пленки на скорость процессов влагопереноса проведены



(a)

исследования массовой доли влаги и активности воды образцов желейного мармелада.

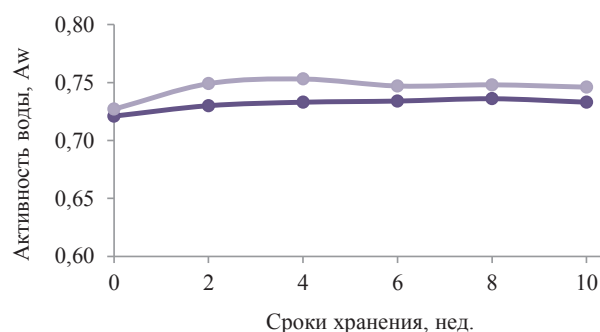
Массовая доля влаги в глазури составила 1,1 %. Градиент активности воды между окружающей средой и поверхностью изделий обуславливает направление процессов влагопереноса. Скорость таких процессов характеризуется потерей влаги при хранении желейного мармелада при заданных условиях хранения. Поэтому исследовали активность липазы, а также микробиологические показатели в отдельных частях желейного мармелада: глазури, слой под глазурью и мармелад (рис. 2).

При исследовании активности воды в образцах мармелада не выявили существенных различий для желейного мармелада, упакованного в полипропиленовую и биоразлагаемую пленки (рис. 3).

Активность воды образцов практически не изменилась и оставалась на уровне 0,70–0,75 в течение 10 недель, что прогнозирует одинаковую скорость влагопереноса из изделия в окружающую среду в течение всего периода хранения.

При увеличении активности воды в кондитерских изделиях могут формироваться благоприятные условия для размножения микроорганизмов с высокой липолитической активностью. Особенно сильно этот эффект проявляется на внутренней стороне глазури, препятствующей диффузии влаги из массы мармелада в окружающую воздушную среду. Поэтому на граничном межфазном слое между глазурью и мармеладной массой активность липазы проявляется в наибольшей степени.

Стабильность активности воды упакованного мармелада в процессе хранения связана с тем, что скорость влагопереноса от глазированной поверхности мармелада в окружающую среду (внутри упаковки) выше, чем скорость миграции влаги через полипропиленовую и биоразлагаемую пленки. Это было подтверждено результатами исследований этого показателя. Упаковочные пленки



(b)

Рисунок 3. Изменение активности воды в частях глазированного мармелада, упакованного в: а – полипропиленовую пленку; б – биоразлагаемую пленку

Figure 3. Water activity in various parts of glazed marmalade packaged in: a – polypropylene film; b – biodegradable film

Таблица 1. Удельная скорость влагопереноса мармелада в различной упаковке

Table 1. Specific rate of moisture transfer of marmalade in different packaging

Изделие, толщина пленки	Удельная скорость влагопереноса, $\times 10^{-6}$ , г/м <sup>2</sup> ·с
Мармелад в полипропиленовой пленке, 40 мкм	1,16
Мармелад в биоразлагаемой пленке, 50 мкм	0,83

не позволяют молекулам воды диффундировать в окружающую воздушную среду.

Установлено, что массовая доля влаги за 10 недель хранения желейного мармелада уменьшилась на 0,26–0,30 % в образцах, упакованных в полипропиленовую пленку, и на 0,22–0,28 % в образцах, упакованных в биоразлагаемую пленку.

С учетом размера упаковки рассчитали удельную скорость влагопереноса  $F$  между поверхностью упаковки и окружающей средой по формуле (1) (табл. 1).

$$F = \frac{q}{A \times t} \quad (1)$$

где  $q$  – количество продиффундировавшей влаги, г;

$A$  – единица поверхности, м<sup>2</sup>;

$t$  – длительность исследований, с.

Таким образом, удельная скорость влагопереноса для образцов, упакованных в полипропиленовую пленку, больше в 1,4 раза, чем у образцов глазированного желейного мармелада, упакованных в биоразлагаемую пленку. Полученные результаты свидетельствуют о низкой влагонепроницаемости использованной биоразлагаемой пленки на основе термопластичного крахмала и подтверждают возможность использования такой пленки для упаковки и повышения сохранности мармелада.

Коэффициент молекулярной диффузии  $D$  служит для прогнозирования скорости влагопереноса и влияет на срок годности кондитерских изделий студнеобразной консистенции. Коэффициент молекулярной диффузии определяется по формуле:

$$D \approx \frac{\Delta Q \times l}{A \times \Delta t \times (c_2 - c_1)} \quad (2)$$

где  $\Delta Q$  – количество продиффундировавшей влаги, г;

$l$  – толщина пленки, м;

$A$  – площадь поверхности, м<sup>2</sup>;

$\Delta t$  – длительность процесса влагопереноса, с;

$c_2$  – содержание влаги в паровой фазе окружающего воздуха, г/м<sup>3</sup>;

$c_1$  – содержание влаги в паровой фазе в упаковке изделия, г/м<sup>3</sup>.

Коэффициент молекулярной диффузии, рассчитанный для мармелада, упакованного в биоразла-

Таблица 2. Коэффициент молекулярной диффузии мармелада в различной упаковке

Table 2. Coefficient of molecular diffusion of marmalade in different packaging

Изделие, толщина пленки	Коэффициент молекулярной диффузии ( $D$ ), $\times 10^{-12}$ , м <sup>2</sup> /с
Мармелад в полипропиленовой пленке, 40 мкм	7,48
Мармелад в биоразлагаемой пленке, 50 мкм	6,87

гаемую пленку, меньше в 1,1 раза, чем у изделий, упакованных в полипропиленовую пленку, (табл. 2).

Коэффициенты молекулярной диффузии для различных видов упаковки подтверждают ранее полученные при хранении данные по скорости влагопереноса между поверхностью образцов глазированного желейного мармелада и окружающим воздухом.

Таким образом, использование биоразлагаемой пленки на основе термопластичного крахмала позволяет уменьшить скорость влагопереноса и прогнозировать увеличение срока годности такого мармелада, обусловленное уменьшением скорости процессов черствения.

Поскольку модельные образцы желейного мармелада были глазированы кондитерской глазурью, приготовленной на основе жира лауринового типа с высоким риском ухудшения органолептических показателей изделий при хранении, то были проведены исследования активности липазы и микробиологические показатели желейного мармелада при хранении.

Жировая глазурь является барьером при миграции влаги из массы мармелада. Поэтому на границе жировой фазы глазури и водной фазы желейного мармелада возможно создание условий, благоприятных для роста отдельных групп микроорганизмов, в частности плесеней, вырабатывающих липолитические ферменты. Присутствие свободной влаги влияет на активность липазы. Поскольку липаза растворяется в воде, то ее активность может значительно увеличиться.

Значительное количество свободной влаги также обуславливает рост микробиоты в кондитерских изделиях. Поэтому исследовали активность липазы и микробиологические показатели в отдельных частях желейного мармелада (рис. 4–6).

Активность липазы при хранении изделий в различных пленках изменялась незначительно: в диапазоне от 0 до 1 балла. При аналитическом определении эти данные характеризуются как практическое отсутствие активности липазы. Это было подтверждено результатами органолептических исследований.

Низкая активность липазы обусловлена низкой кислотностью (рН) образцов желейного мармелада,

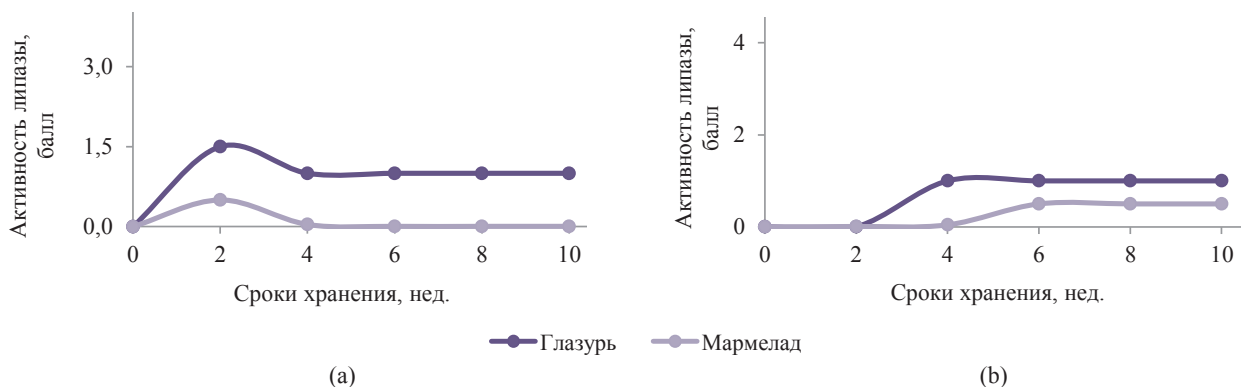


Рисунок 4. Активность липазы в частях глазированного мармелада в различной упаковке: а – полипропиленовая пленка; б – биоразлагаемая пленка

Figure 4. Lipase activity in various parts of glazed marmalade wrapped in: a – polypropylene film; b – biodegradable film

которая составила 3,16. Липазы микробного происхождения проявляют активность при более высоких значениях pH. Таким образом, лимонная кислота, использованная при изготовлении образцов жележного мармелада, ингибирует активность липазы в процессе их хранения.

Исследования показателей микробиологической безопасности отдельных частей изделий в процессе хранения модельных образцов жележного мармелада показали, что после 10 недель хранения образцов жележного мармелада, упакованных в полипропиленовую пленку, количество КМАФАнМ в слое под глазурью сохраняется на уровне  $2,0 \times 10$  КОЕ/г. При этом в слое под глазурью мармелада, упакованного в биоразлагаемую пленку, количество КМАФАнМ уменьшилось до нулевого уровня (рис. 5, 6).

Полученные результаты можно объяснить различными барьерными свойствами использованных упаковочных материалов.

Необходимо отметить, что Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции» регламентирует

допустимое количество КМАФАнМ в мармеладе не более  $5 \times 10^3$  КОЕ/г, плесеней – не более 100 КОЕ/г, дрожжей – не более 50 КОЕ/г. Таким образом, для всех образцов жележного мармелада по окончании 12 недель хранения содержание КМАФАнМ полностью удовлетворяло требованиям по безопасности, регламентированным в ТР ТС 021/2011.

В исходных образцах мармелада дрожжи отсутствовали, в процессе хранения мармелада их содержание не увеличилось. Необходимо отметить, что количество плесеней и дрожжей в образцах жележного мармелада, глазированных кондитерской глазурью и упакованных в полипропиленовую и в биоразлагаемую пленки, не превышали показатели микробиологической безопасности по требованиям ТР ТС 021/2011.

Таким образом, проведено комплексное исследование влияние вида упаковки на процессы миграции влаги, изменение активности липазы и микробиологические показатели. Показано, что новый вид биоразлагаемой упаковки на основе термопластичного крахмала обладает схожими барьерными свойствами в сравнении с классической

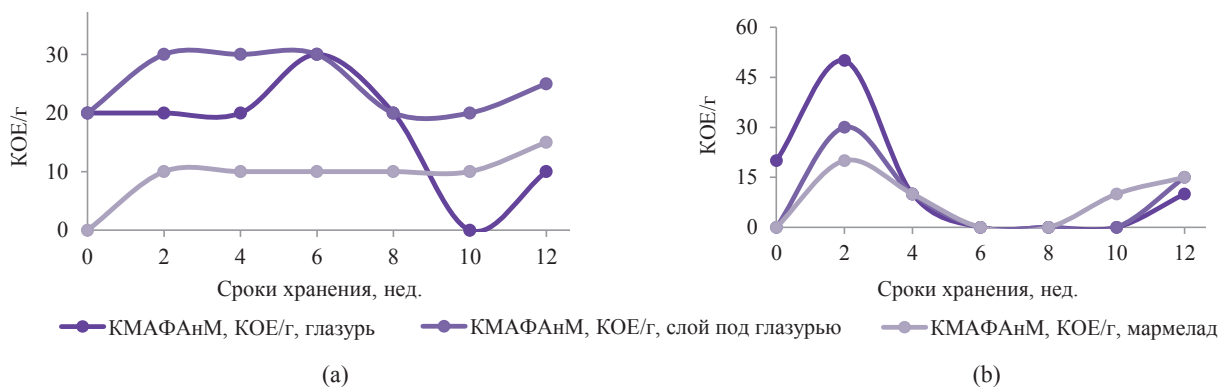


Рисунок 5. Количество КМАФАнМ в образцах жележного мармелада в различной упаковке: а – полипропиленовая пленка толщиной 40 мкм; б – биоразлагаемая пленка толщиной 50 мкм

Figure 5. QMAFAnM in jelly marmalade wrapped in: a – polypropylene film (40 microns); b – biodegradable film (50 microns)

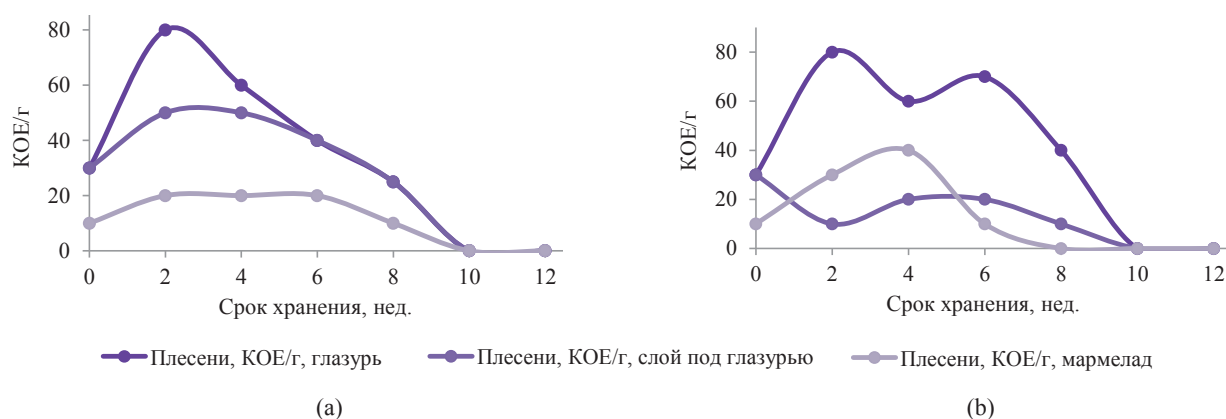


Рисунок 6. Количество плесеней в образцах желейного мармелада в различной упаковке: а – полипропиленовая пленка толщиной 40 мкм; б – биоразлагаемая пленка толщиной 50 мкм

Figure 6. Mold in jelly marmalade wrapped in: a – polypropylene film (40 microns); b – biodegradable film (50 microns)

полипропиленовой упаковкой. При этом гарантируется сохранность качества упакованных изделий на примере глазированного кондитерской глазурью желейного мармелада.

### Выводы

Результаты сравнительных испытаний барьерных свойств упаковки из полипропиленовой и биоразлагаемой пленки не выявили существенных различий активности воды при хранении образцов глазированного желейного мармелада.

Установлено, что массовая доля влаги за 10 недель хранения уменьшилась на 0,26–0,30 % в образцах мармелада, упакованных в полипропиленовую пленку, и на 0,22–0,28 % в образцах, упакованных в биоразлагаемую пленку. Удельная скорость влагопереноса для образцов, упакованных в полипропиленовую пленку, была больше в 1,4 раза, чем у образцов мармелада, упакованного в биоразлагаемую пленку.

Коэффициент молекулярной диффузии для упаковки из полипропиленовой пленки составил  $7,48 \times 10^{-12}$  м<sup>2</sup>/с, из биоразлагаемой меньше –  $6,87 \times 10^{-12}$  м<sup>2</sup>/с. Это позволяет прогнозировать стабильность массовой доли влаги, активности воды и микробиологических показателей мармелада при хранении в биоразлагаемой упаковке. Увеличение активности липазы при хранении образцов глазированного мармелада, упакованных в различные полимерные пленки, не наблюдалось.

Исследования сохранности желейного мармелада, глазированного кондитерской глазурью и упакованного в два вида пленок, показали, что замена полипропиленовой пленки на биоразлагаемую не оказывает существенного влияния на показатели безопасности кондитерских изделий. Количество плесени и дрожжей в образцах желейного мармелада, глазированных кондитерской глазурью и упакованных в полипропиленовую и в биоразлагаемую пленки, не превышали показатели

микробиологической безопасности по требованиям ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции».

Можно предположить, что практическое применение биоразлагаемой пленки для производства упаковочных материалов представляет реальную возможность экономии ресурсов и минимизирование ущерба для окружающей среды. Изменение химической структуры полиэтиленовой пленки в результате введения в состав пленки 30 % термопластичного крахмала оказывает воздействие на фрагментацию упаковочной пленки в почве. Поэтому использование биоразлагаемой пленки для упаковки различных видов кондитерских изделий требует дальнейших исследований.

### Критерии авторства

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат.

### Конфликт интересов

Авторы статьи заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### Благодарности

Авторы выражают благодарность коллегам: Д. А. Соломину, М. В. Осипову и Е. В. Казанцеву за консультации и помощь в выполнении исследований, обработке и оформлении полученных результатов.

### Contribution

All authors were equally involved in the research and bear equal responsibility for any possible cases of plagiarism.

### Conflicts of interest

The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this article.



### Acknowledgments

The authors would like to express their sincere gratitude to their colleagues D.A. Solomin,

M.V. Osipov, and E.V. Kazantsev for their assistance in the experimental work, data processing, and presentation of the results.

### Список литературы

1. European Parliament and Council Directive 94/62/EC of 20 December 1994 on packaging and packaging waste [Internet]. – Available from: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A31994L0062>. – Date of application: 11.06.2020.
2. Taking sustainable use of resources forward: A Thematic Strategy on the prevention and recycling of waste [Internet]. – Available from: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52005DC0666>. – Date of application: 11.06.2020.
3. Closing the loop – An EU action plan for the circular economy [Internet]. – Available from: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52015DC0614>. – Date of application: 11.06.2020.
4. Directive (EU) 2018/852 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 amending Directive 94/62/EC on packaging and packaging waste [Internet]. – Available from: [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv:OJ.L\\_2018.150.01.0141.01.ENG&toc=OJ:L:2018:150:TOC](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv:OJ.L_2018.150.01.0141.01.ENG&toc=OJ:L:2018:150:TOC). – Date of application: 11.06.2020.
5. A European strategy for plastics in a circular economy [Internet]. – Available from: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1516265440535&uri=COM:2018:28:FIN>. – Date of application: 11.06.2020.
6. Nestlé активизирует усилия по переработке пластиковых отходов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.nestle.ru/media/newscomp/plastic>. – Дата обращения: 11.06.2020.
7. Coca-Cola sings ocean plastics charted at G7 meeting [Internet]. – Available from: <https://www.coca-colacompany.com/news/coca-cola-signs-ocean-plastics-charter>. – Date of application: 11.06.2020.
8. Danone aims to make 100% of packaging recyclable by 2025 [Internet]. – Available from: <https://www.foodbev.com/news/danone-aims-to-make-100-of-packaging-recyclable-by-2025>. – Date of application: 11.06.2020.
9. Billions of expenses await the Polish packaging industry [Internet]. – Available from: [http://www.foodfrompoland.pl/article/art\\_id,28395-61/billions-of-expenses-await-the-polish-packaging-industry/place,1/](http://www.foodfrompoland.pl/article/art_id,28395-61/billions-of-expenses-await-the-polish-packaging-industry/place,1/). – Date of application: 11.06.2020.
10. Отходы пищевой промышленности АПК – перспективное сырье для биоразлагаемых упаковочных композиций / В. В. Колпакова, Г. Н. Панкратов, А. А. Чевокин [и др.] // Пищевая промышленность. – 2008. – № 6. – С. 16–19.
11. Физико-химические свойства полимерных композиций с использованием крахмала / С. В. Краус, Н. Д. Лукин, Т. В. Иванова [и др.] // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2011. – № 1. – С. 8–11.
12. Лукин, Н. Д. Технология получения термопластичных крахмалов / Н. Д. Лукин, И. С. Усачев // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2015. – Т. 66, № 4. – С. 156–159.
13. Пат. 2645677С1 Российская Федерация, С08L23/06, С08L3/02, С08K5/053. Биологически разрушаемая термопластичная композиция / Лукин Н. Д., Ананьев В. В., Колпакова В. В. [и др.]; заявитель и патентообладатель ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова» РАН – № 2016151141; заявл. 26.12.2016; опубл. 27.02.2018; Бюл. № 6. – 6 с.
14. Degradation and recycling of films based on biodegradable polymers: A short review / R. Scaffaro, A. Maio, F. Suter [et al.] // Polymers. – 2019. – Vol. 11, № 4. DOI: <https://doi.org/10.3390/polym11040651>.
15. Razavi, S. M. A. Structural and physicochemical characteristics of a novel water-soluble gum from *Lallemantia royleana* seed / S. M. A. Razavi, S. W. Cui, H. Ding // International Journal of Biological Macromolecules. – 2016. – Vol. 83. – P. 142–151. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2015.11.076>.
16. Almasi, B. Physicochemical properties of starch-CMC-nanoclay biodegradable films / H. Almasi, B. Ghanbarzadeh, A. A. Entezami // International Journal of Biological Macromolecules. – 2010. – Vol. 46, № 1. – P. 1–5. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2009.10.001>.
17. Biodegradability and mechanical properties of starch films from Andean crops / F. Torres, O. P. Troncoso, C. Torres [et al.] // International Journal of Biological Macromolecules. – 2011. – Vol. 48, № 4. – P. 603–606. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2011.01.026>.
18. Суворова, А. И. Биоразлагаемые полимерные материалы на основе крахмала / А. И. Суворова, И. С. Тюкова, Е. И. Труфанова // Успехи химии. – 2000. – Т. 69, № 5. – С. 494–504. DOI: <https://doi.org/10.1070/RC2000v069n05ABEH000505>.
19. Development and characterization of sugar palm starch and poly(lactic acid) bilayer films / M. L. Sanyang, S. M. Sapuan, M. Jawaid [et al.] // Carbohydrate Polymers. – 2016. – Vol. 146. – P. 36–45. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.03.051>.
20. Development and characterization of cassava starch films incorporated with blueberry pomace / C. L. Luchese, T. Garrido, J. C. Spada [et al.] // International Journal of Biological Macromolecules. – 2018. – Vol. 106. – P. 834–839. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.08.083>.
21. Green development of biodegradable films based on native yam (*Dioscoreaceae*) starch mixtures / P. S. Hornung, S. Ávila, K. Masisi [et al.] // Starch-Stärke. – 2018. – Vol. 70, № 5–6. DOI: <https://doi.org/10.1002/star.201700234>.

22. Study of the behavior of biodegradable starch/polyvinyl alcohol/rosin blends / D. Domene-López, M. M. Guillén, I. Martin-Gullon [et al.] // *Carbohydrate Polymers*. – 2018. – Vol. 202. – P. 299–305. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.08.137>.
23. Nogueira, G. F. Extraction and characterization of arrowroot (*Maranta arundinaceae* L.) starch and its application in edible films / G. F. Nogueira, F. M. Fakhouri, R. A. de Oliveira // *Carbohydrate Polymers*. – 2018. – Vol. 186. – P. 64–72. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.01.024>.
24. Soluble soybean polysaccharide: A new carbohydrate to make a biodegradable film for sustainable green packaging / S. Tajik, Y. Maghsoudlou, F. Khodaiyan [et al.] // *Carbohydrate Polymers*. – 2013. – Vol. 97, № 2. – P. 817–824. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.05.037>.
25. The study of rheological behavior and safety metrics of natural biopolymers / L. K. Asyakina, V. F. Dolganyuk, D. D. Belova [et al.] // *Foods and Raw Materials*. – 2016. – Vol. 4, № 1. – P. 70–78. DOI: <https://doi.org/10.21179/2308-4057-2016-1-70-78>.
26. How performance and fate of biodegradable mulch films are impacted by field ageing / F. Touchaleaume, H. Angellier-Coussy, G. César [et al.] // *Journal of Polymers and the Environment*. – 2018. – Vol. 26, № 6. – P. 2588–2600. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10924-017-1154-7>.
27. Muller, J. Combination of poly(lactic) acid and starch for biodegradable food packaging / J. Muller, C. Gonzalez-Martinez, A. Chiralt // *Materials*. – 2017. – Vol. 10, № 8. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma10080952>.
28. Wang, X.-L. Properties of starch blends with biodegradable polymers / X.-L. Wang, K.-K. Yang, Y.-Z. Wang // *Journal of Macromolecular Science. Polymer Reviews*. – 2003. – Vol. 43, № 3. – P. 385–409. DOI: <https://doi.org/10.1081/MC-120023911>.
29. Influence of starch composition and molecular weight on physicochemical properties of biodegradable films / D. Domene-López, J. C. Garcia-Quesada, I. Martin-Gullon [et al.] // *Polymers*. – 2019. – Vol. 11, № 7. DOI: <https://doi.org/10.3390/polym11071084>.
30. Совершенствование технологии применения термопластичного крахмала для биоразлагаемой полимерной пленки / В. В. Колпакова, И. С. Усачев, А. С. Сарджвеладзе [и др.] // *Пищевая промышленность*. – 2017. – № 8. – С. 34–38.
31. Гатин, И. М. Нетривиальные подходы снижения накопления отходов упаковочных полимерных материалов / И. М. Гатин, О. В. Иванова, Р. М. Халиков // *NovaInfo.Ru*. – 2017. – Т. 62, № 1. – С. 1–6.
32. Взаимосвязь активности липазы и скорости влагопереноса в пряниках, глазированных кондитерской глазурью на основе жиров лауринового типа / О. С. Руденко, Н. Б. Кондратьев, М. А. Пестерев [и др.] // *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*. – 2019. – Т. 81, № 4 (82). – С. 62–70. DOI: <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2019-4-62-70>.
33. Влияние свойств упаковки на изменение влажности сырцовых пряников с фруктовой начинкой / Н. Б. Кондратьев, Е. В. Казанцев, Н. А. Петрова [и др.] // *Пищевая промышленность*. – 2019. – № 7. – С. 16–18. DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2486-2019-10096>.
34. Кондратьев, Н. Б. Оценка качества кондитерских изделий. Повышение сохранности кондитерских изделий / Н. Б. Кондратьев. – М. : Перо, 2015. – 250 с.
35. Исследование процесса влагопереноса в сырцовых пряниках с фруктовой начинкой, изготовленных с использованием различных видов модифицированного крахмала / Н. Б. Кондратьев, Е. В. Казанцев, М. В. Осипов [и др.] // *Хранение и переработка сельхозсырья*. – 2019. – № 4. – С. 35–46. DOI: <https://doi.org/10.36107/spfp.2019.187>.
36. Galić, K. Packaging and the shelf life of bakery goods – A review / K. Galić, D. Čurić, D. Gabrić // *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. – 2009. – Vol. 49, № 5. – P. 405–426. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408390802067878>.
37. Shelf life and safety concerns of bakery products – A review / J. P. Smith, D. P. Daifas, W. El-Khoury [et al.] // *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. – 2004. – Vol. 44, № 1. – P. 19–55. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408690490263774>.
38. Microbial lipases and their industrial applications: A comprehensive review / P. Chandra, Enespa, R. Singh [et al.] // *Microbial Cell Factories*. – 2020. – Vol. 19, № 1. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12934-020-01428-8>.
39. Microbial lipases / O.-M. Lai, E.-T. Phuah, Y.-Y. Lee [et al.] // *Food lipids. Chemistry, nutrition, and biotechnology* / C. C. Akoh. – Boca Raton : CRC Press, 2017. – P. 853–898. DOI: <https://doi.org/10.1201/9781315151854>.

## References

1. European Parliament and Council Directive 94/62/EC of 20 December 1994 on packaging and packaging waste [Internet]. [cited 2020 Jun 11]. Available from: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A31994L0062>.
2. Taking sustainable use of resources forward: A Thematic Strategy on the prevention and recycling of waste [Internet]. [cited 2020 Jun 11]. Available from: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52005DC0666>.
3. Closing the loop – An EU action plan for the circular economy [Internet]. [cited 2020 Jun 11]. Available from: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52015DC0614>.
4. Directive (EU) 2018/852 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 amending Directive 94/62/EC on packaging and packaging waste [Internet]. [cited 2020 Jun 11]. Available from: [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv:OJ.L\\_.2018.150.01.0141.01.ENG&toc=OJ:L:2018:150:TOC](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv:OJ.L_.2018.150.01.0141.01.ENG&toc=OJ:L:2018:150:TOC).

5. A European strategy for plastics in a circular economy [Internet]. [cited 2020 Jun 11]. Available from: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1516265440535&uri=COM:2018:28:FIN>.
6. Nestlé aktiviziruet usiliya po pererabotke plastikovykh otkhodov [Nestlé to step up efforts on plastic waste recycling] [Internet]. [cited 2020 Jun 11]. Available from: <https://www.nestle.ru/media/newscomp/plastic>.
7. Coca-Cola sings ocean plastics charted at G7 meeting [Internet]. [cited 2020 Jun 11]. Available from: <https://www.coca-colacompany.com/news/coca-cola-signs-ocean-plastics-charter>.
8. Danone aims to make 100% of packaging recyclable by 2025 [Internet]. [cited 2020 Jun 11]. Available from: <https://www.foodbev.com/news/danone-aims-to-make-100-of-packaging-recyclable-by-2025>.
9. Billions of expenses await the Polish packaging industry [Internet]. [cited 2020 Jun 11]. Available from: [http://www.foodfrompoland.pl/article/art\\_id,28395-61/billions-of-expenses-await-the-polish-packaging-industry/place,1/](http://www.foodfrompoland.pl/article/art_id,28395-61/billions-of-expenses-await-the-polish-packaging-industry/place,1/).
10. Kolpakova VV, Pankratov GN, Chevokin AA, Gavrillov AM, Skobelskaya ZG, Semenov GV, et al. Waste products of food industry of agrarian and industrial complex- perspective material for biodegradable packaging compositions. *Food Industry*. 2008;(6):16–19. (In Russ.).
11. Kraus SV, Lukin ND, Ivanova TV, Sdobnikova OA. Physical-chemical properties of polymer compositions using starch. *Storage and Processing of Farm Products*. 2011;(1):8–11. (In Russ.).
12. Lukin ND, Usachev IS. Technology of thermoplastic starch production. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*. 2015;66(4):156–159. (In Russ.).
13. Lukin ND, Ananov VV, Kolpakova VV, Usachev IS, Sardzhveladze AS, Sdobnikova OA, et al. Biologically degradable thermoplastic composition. Russia patent RU 2645677C1. 2018.
14. Scaffaro R, Maio A, Sutura F, Gulino EF, Morreale M. Degradation and recycling of films based on biodegradable polymers: A short review. *Polymers*. 2019;11(4). DOI: <https://doi.org/10.3390/polym11040651>.
15. Razavi SMA, Cui SW, Ding H. Structural and physicochemical characteristics of a novel water-soluble gum from *Lallemantia royleana* seed. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2016;83:142–151. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2015.11.076>.
16. Almasi B, Ghanbarzadeh B, Entezami AA. Physicochemical properties of starch-CMC-nanoclay biodegradable films. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2010;46(1):1–5. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2009.10.001>.
17. Torres F, Troncoso OP, Torres C, Diaz DA, Amaya E. Biodegradability and mechanical properties of starch films from Andean crops. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2011;48(4):603–606. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2011.01.026>.
18. Suvorova AI, Tyukova IS, Trufanova EI. Biodegradable starch-based polymeric materials. *Russian Chemical Reviews*. 2000;69(5):451–459. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.1070/RC2000v069n05ABEH000505>.
19. Sanyang ML, Sapuan SM, Jawaid M, Ishak MR, Sahari J. Development and characterization of sugar palm starch and poly(lactic acid) bilayer films. *Carbohydrate Polymers*. 2016;146:36–45. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.03.051>.
20. Luchese CL, Garrido T, Spada JC, Tessaro IC, de la Caba K. Development and characterization of cassava starch films incorporated with blueberry pomace. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2018;106:834–839. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.08.083>.
21. Hornung PS, Ávila S, Masisi K, Malunga LN, Lazzarotto M, Schnitzler E, et al. Green development of biodegradable films based on native yam (*Dioscoreaceae*) starch mixtures. *Starch-Stärke*. 2018;70(5–6). DOI: <https://doi.org/10.1002/star.201700234>.
22. Domene-López D, Guillén MM, Martín-Gullón I, García-Quesada JC, Montalbán MG. Study of the behavior of biodegradable starch/polyvinyl alcohol/rosin blends. *Carbohydrate Polymers*. 2018;202:299–305. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.08.137>.
23. Nogueira GF, Fakhouri FM, de Oliveira RA. Extraction and characterization of arrowroot (*Maranta arundinaceae* L.) starch and its application in edible films. *Carbohydrate Polymers*. 2018;186:64–72. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.01.024>.
24. Tajik S, Maghsoudlou Y, Khodaiyan F, Jafari SM, Ghasemlou M, Aalami M. Soluble soybean polysaccharide: A new carbohydrate to make a biodegradable film for sustainable green packaging. *Carbohydrate Polymers*. 2013;97(2):817–824. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.05.037>.
25. Asyakina LK, Dolganyuk VF, Belova DD, Peral MM, Dyshlyuk LS. The study of rheological behavior and safety metrics of natural biopolymers. *Foods and Raw Materials*. 2016;4(1):70–78. DOI: <https://doi.org/10.21179/2308-4057-2016-1-70-78>.
26. Touchaleaume F, Angellier-Coussy H, César G, Raffard G, Gontard N, Gastaldi E. How performance and fate of biodegradable mulch films are impacted by field ageing. *Journal of Polymers and the Environment*. 2018;26(6):2588–2600. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10924-017-1154-7>.
27. Muller J, Gonzalez-Martinez C, Chiralt A. Combination of poly(lactic) acid and starch for biodegradable food packaging. *Materials*. 2017;10(8). DOI: <https://doi.org/10.3390/ma10080952>.
28. Wang X-L, Yang K-K, Wang Y-Z. Properties of starch blends with biodegradable polymers. *Journal of Macromolecular Science. Polymer Reviews*. 2003;43(3):385–409. DOI: <https://doi.org/10.1081/MC-120023911>.

29. Domene-López D, Garcia-Quesada JC, Martin-Gullon I, Montalban MG. Influence of starch composition and molecular weight on physicochemical properties of biodegradable films. *Polymers*. 2019;11(7). DOI: <https://doi.org/10.3390/polym11071084>.
30. Kolpakova VV, Usachev IS, Sardzhveladze AS, Solomin DA, Ananiev VV, Vasil'ev IYu. Perfection of technology of application of thermoplastic starch for biodegradable polymeric film. *Food Industry*. 2017;(8):34–38. (In Russ.).
31. Gatin IM, Ivanova OV, Khalikov RM. Netrivial'nye podkhody snizheniya nakopleniya otkhodov upakovochnykh polimernykh materialov [Non-trivial approaches to reducing the accumulation of polymeric packaging waste]. *NovaInfo.Ru*. 2017;62(1):1–6. (In Russ.).
32. Rudenko OS, Kondratiev NB, Pesterev MA, Bazhenova AE, Linovskaya NV. Correlation of lipase activity and moisture transfer rate in gingerbread glazed with confectionery glaze based on lauric type fats. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*. 2019;81(4)(82):62–70. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2019-4-62-70>.
33. Kondratiev NB, Kazantsev EV, Petrova NA, Osipov MV, Svyatoslavova IM. Influence of packaging properties on changes moisture of raw gingerbreads with fruit filling. *Food Industry*. 2019;(7):16–18. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2486-2019-10096>.
34. Kondrat'ev NB. Otsenka kachestva konditerskikh izdeliy. Povyshenie sokhrannosti konditerskikh izdeliy [Quality assessment of confectionery. Improving the safety of confectionary products]. Moscow: Pero; 2015. 250 p. (In Russ.).
35. Kondratyev NB, Kazancev EV, Osipov MV, Petrova NA, Rudenko OS. Research of the moisture transfer processes in gingerbread with fruit filling produced using various types of modified starch. *Storage and Processing of Farm Products*. 2019;(4):35–46. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.36107/spfp.2019.187>.
36. Galić K, Ćurić D, Gabrić D. Packaging and the shelf life of bakery goods – A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2009;49(5):405–426. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408390802067878>.
37. Smith JP, Daifas DP, El-Khoury W, Koukoutsis J, El-Khoury A. Shelf life and safety concerns of bakery products – A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2004;44(1):19–55. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408690490263774>.
38. Chandra P, Enespa, Singh R, Arora PK. Microbial lipases and their industrial applications: A comprehensive review. *Microbial Cell Factories*. 2020;19(1). DOI: <https://doi.org/10.1186/s12934-020-01428-8>.
39. Lai O-M, Phuah E-T, Lee Y-Y, Akoh CC, Weete JD. Microbial lipases. In: Akoh CC, editor. *Food lipids. Chemistry, nutrition, and biotechnology*. Boca Raton: CRC Press; 2017. pp. 853–898. DOI: <https://doi.org/10.1201/9781315151854>.

#### Сведения об авторах

##### Пестерев Михаил Алексеевич

младший научный сотрудник отдела современных методов оценки качества кондитерских изделий, Всероссийский научно-исследовательский институт кондитерской промышленности, 107023, Россия, г. Москва, ул. Электрозаводская, 20, e-mail: mb-niikp@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-0980-1862>

##### Руденко Оксана Сергеевна

канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник отдела современных методов оценки качества кондитерских изделий, Всероссийский научно-исследовательский институт кондитерской промышленности, 107023, Россия, г. Москва, ул. Электрозаводская, 20, e-mail: oxana0910@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0003-2436-4100>

##### Кондратьев Николай Борисович

д-р техн. наук, главный научный сотрудник отдела современных методов оценки качества кондитерских изделий, Всероссийский научно-исследовательский институт кондитерской промышленности, 107023, Россия, г. Москва, ул. Электрозаводская, 20, e-mail: vniik@arrisp.ru  
<https://orcid.org/0000-0003-3322-9621>

##### Баженова Алла Евгеньевна

научный сотрудник отдела современных методов оценки качества кондитерских изделий, Всероссийский научно-исследовательский институт кондитерской промышленности, 107023, Россия, г. Москва, ул. Электрозаводская, 20, e-mail: bajenova.a@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-6994-8524>

#### Information about the authors

##### Mikhail A. Pesterev

Junior Researcher of the Department of Modern Methods for Assessing the Quality of Confectionery Products, All-Russia Research Institute of the Confectionery Industry, 20, Electrozavodskaya Str., Moscow, 107023, Russia, e-mail: mb-niikp@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-0980-1862>

##### Oxana S. Rudenko

Cand.Sci.(Eng.), Leading Researcher of the Department of Modern Methods for Assessing the Quality of Confectionery Products, All-Russia Research Institute of the Confectionery Industry, 20, Electrozavodskaya Str., Moscow, 107023, Russia, e-mail: oxana0910@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0003-2436-4100>

##### Nikolay B. Kondratev


Dr.Sci.(Eng.), Chief Researcher of the Department of Modern Methods for Assessing the Quality of Confectionery Products, All-Russia Research Institute of the Confectionery Industry, 20, Electrozavodskaya Str., Moscow, 107023, Russia, e-mail: vniik@arrisp.ru  
<https://orcid.org/0000-0003-3322-9621>

##### Alla E. Bazhenova

Researcher of the Department of Modern Methods for Assessing the Quality of Confectionery Products, All-Russia Research Institute of the Confectionery Industry, 20, Electrozavodskaya Str., Moscow, 107023, Russia, e-mail: bajenova.a@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-6994-8524>


**Усачев Иван Сергеевич**

заместитель директора по общим вопросам, Всероссийский научно-исследовательский институт крахмалопродуктов, 140051, Россия, Московская обл., Красково, ул. Некрасова, 11, e-mail: vaneo20012@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-8486-1331>

**Ivan S. Usachev**

Deputy Director for General Affairs, All-Russian Research Institute of Starch Products, 11, Nekrasova Str., Kraskovo, Moscow region, 140051, Russia, e-mail: vaneo20012@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-8486-1331>