

DOI: <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-1-56-61><https://www.fsjour.com/jour>

Научная статья

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ СТРУКТУРЫ ПОЛИЭТИЛЕНОВОГО СЛОЯ УПАКОВКИ, КОНТАКТИРУЮЩЕГО С ПИЩЕВЫМ ПРОДУКТОМ, ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Федотова О. Б., Пряничникова Н. С.*

Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности, Москва, Россия

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

полиэтилен, упаковка пищевых продуктов, спектры, ультрафиолетовое излучение, облучение, структура, безопасность

АННОТАЦИЯ

Санитарно-гигиеническую безопасность современной упаковки, обуславливает слой упаковочного материала находящейся в непосредственном контакте с пищевым продуктом. Этот слой в большинстве случаев представляет собой синтетический полимер класса полиолефинов — полиэтилен низкой плотности. Этот материал используется в качестве самостоятельной упаковки и в составе многослойных и комбинированных упаковочных материалов. При термо- и фотоокислении в нем могут образовываться соединения, негативно влияющие на безопасность упаковки, которые могут мигрировать в продукт. В технологиях пищевых продуктов используются методы обеззараживания упаковочных материалов и упаковки перед фасованием либо розливом продукции. В составе этих методов — ультрафиолетовое облучение поверхности, которое обладает бактерицидным действием. С использованием спектральных методов анализа проведены исследования изменения структуры слоев полиэтилена в составе пленок, многослойных пленок и комбинированных упаковочных материалов при воздействии на них импульсного ультрафиолетового излучения в широкой области спектра (облучение импульсной ксеноновой лампой). Выявлены деформации химических связей макромолекул полиэтилена на поверхности и граничных слоях под воздействием импульсного УФ-облучения. Получены ИК спектры МНПВО, анализ которых показал, что наибольшему деструктивному воздействию подвержена монопленка, о чем свидетельствует появление характерных полос поглощения, ответственных за образование альдегидных, кетонных групп, а также, за обрыв полимерной цепи. Показано что использование пищевой сажи в составе многослойных упаковочных пленок блокирует их фотодеструкцию. При облучении комбинированного материала на основе картона, предназначенного для розлива молока, на спектрах обнаружена полоса поглощения, ответственная за начало процесса деструкции с образованием альдегидных и карбоксилатных группировок.

Сравнение изменения структуры в трех разных упаковочных объектах, содержащих слой полиэтилена, показывает целесообразность и необходимость использования для упаковки пищевой продукции комбинированных и многослойных материалов, в которых даже при экстремальном УФ-облучении, практически отсутствуют процессы фотодеструкции, что подтверждено спектральными исследованиями.

Available online at <https://www.fsjour.com/jour>

Original scientific article

RESEARCH OF THE POLYETHYLENE PACKAGING LAYER STRUCTURE CHANGE IN CONTACT WITH A FOOD PRODUCT AT EXPOSURE TO ULTRAVIOLET RADIATION

Olga B. Fedotova, Nataliya S. Pryanichnikova*

All-Russian Dairy Research Institute, Moscow, Russia

KEY WORDS: polyethylene, food packaging, spectra, ultraviolet radiation, irradiation, structure, safety

ABSTRACT

The sanitary and hygienic safety of modern packaging is determined by the layer of packaging material in direct contact with the food product. This layer in most cases is a synthetic polymer of the polyolefin class — low density polyethylene. This material is used as a stand-alone packaging and in multilayer and combined packaging materials. During thermal and photooxidation, compounds can form in it that negatively affect the safety of the package, which can migrate into the product. Food technologies use methods of disinfecting packaging materials and packaging before filling or bottling products. These methods include ultraviolet irradiation of the surface, which has a bactericidal effect. Using spectral methods of analysis, researches have been carried out on changes in the polyethylene layers structure in the film's composition, multilayer films and combined packaging materials when exposed to pulsed ultraviolet radiation in a wide spectral range (irradiation with a pulsed xenon lamp). Deformations of polyethylene macromolecules chemical bonds on the surface and boundary layers under the influence of pulsed UV-irradiation have been revealed. The IR spectra of ATR (Attenuated Total Reflection) were obtained, the analysis of which showed that the monofilm is subject to the greatest destructive effect, as evidenced by the appearance of characteristic absorption bands responsible for the formation of aldehyde, ketone groups, as well as

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Федотова, О.Б., Пряничникова, Н.С. (2021). Исследование изменения структуры полиэтиленового слоя упаковки, контактирующего с пищевым продуктом, при воздействии ультрафиолетового излучения. Пищевые системы, 4(1), 56–61. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-1-56-61>

FOR CITATION: Fedotova, O.B., Pryanichnikova, N.S. (2021). Research of the polyethylene packaging layer structure change in contact with a food product at exposure to ultraviolet radiation. Food systems, 4(1), 56–61. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-1-56-61>

for the polymer chain termination. It is shown that the use of food soot in the composition of multilayer packaging films blocks their photo destruction. Upon irradiation of a combined material based on cardboard intended for bottling milk, an absorption band was found in the spectra, which is responsible for the onset of the destruction process with the formation of aldehyde and carboxylate groups with the formation of aldehyde and carboxylate groups.

Comparison of changes in structure in three different packaging objects containing a polyethylene layer shows the feasibility and necessity of using combined and multilayer materials for food products packaging, in which, even under extreme UV-irradiation, there are practically no photo destruction processes, which is confirmed by spectral researches.

1. Введение

В современности ни один продукт переработки сырья животного происхождения невозможен без его упаковки. Полимерная упаковка прочно вошла в состав технологий производства всех пищевых продуктов. При этом, наиболее широко используются комбинированные и многослойные материалы, послойный состав которых обеспечивает требуемый комплекс свойств того или иного продукта при его хранении и доведении до стола потребителя. Это, например, пленки полиэтиленовые наполненные для пастеризованного и ультрапастеризованного молока. Многослойность таких пленок обеспечивает светозащиту молока при его транспортировании и на торговых полках. В молочной промышленности широко используются комбинированные материалы на основе бумаги и картона, из которых в технологиях молока и молочных продуктов изготавливают пакеты (типа Пюр-Пак; Тетра-Брик, Тетра-брик-асептик и др) [1]. Эти упаковочные материалы, в зависимости от назначения, содержат в своем составе не только бумагу и картон, но и алюминиевую фольгу и обязательно — полиэтилен. Широкое распространение в мясной и молочной промышленности нашли материалы серии полиамид/полиэтилен, из которых изготавливают пакеты и реализуют в технологиях фасования в вакууме и модифицированной газовой среде. Эти материалы относятся к категории многослойных, обеспечивают барьерность упаковки по отношению к газам и могут состоять из различного количества слоев полимеров — от 2 до 7 и также содержат полиэтилен. Более простые по послойному составу материалы, например, для вторичной упаковки брикетов с творогом и творожными изделиями, также содержат в своем составе полиэтилен. Этот синтетический полимер выполняет в составе упаковки различные функции и используется в ее различных слоях. Внешний слой в пакетах типа Тетра-Брик защищает от атмосферных воздействий печатный рисунок, нанесенный на слой бумаги. Промежуточный слой в комбинированных материалах выполняет роль адгезива при соединении бумаги с алюминиевой фольгой. Наиболее важен и многофункционален полиэтиленовый слой в упаковочных материалах, потенциально контактирующих с пищевым продуктом. Он обеспечивает их способность к формированию сварных соединений и, соответственно герметичность формируемой упаковки. Этот же слой должен обеспечивать безопасность с санитарно-гигиенической точки зрения, быть индифферентным по отношению к пищевому продукту, в т. ч. при различных воздействиях: температуры (если термический нагрев предусмотрен технологией продукта); химических реагентов, например, перекиси водорода и надуксусной кислоты (если технологией предусмотрена асептическая обработка); ультрафиолетового облучения (если предусмотрено обеззараживание физическими методами). Практически все используемые комбинированные материалы содержат внутренний полиэтиленовый слой [1,2].

Следует отметить, что, в целом, полиэтилен достаточно хорошо изученный материал. Его безопасность доказана многочисленными исследованиями. Однако существует определенный нюанс. Исследования полимера проводятся

до воздействия на него вышеперечисленных факторов. Некоторые исследования санитарно-гигиенической безвредности упаковки с внутренним полиэтиленовым слоем проводились во ВНИМИ автором настоящей статьи. При этом, использованы приемы моделирования.

Рядом исследований показано, что упаковочные материалы и упаковка в своем жизненном цикле могут подвергаться вторичной контаминации [3,4]. При этом, основными контаминантами являются бактерии группы кишечных палочек и плесневые грибы.

В технологиях молочной продукции все большее распространение находит использование ультрафиолетового (УФ) облучения. [5]. Эффективность обеззараживания упаковки данным безреагентным способом подтверждена проведенными исследованиями [6,7,8].

Безопасность полиэтиленовой упаковки определяется содержанием в нем низкомолекулярных фракций и динамикой миграции их в модельные среды [9,10,11].

При отсутствии воздействия света и при комнатной температуре окисление пленок из полиэтилена протекает очень медленно. При повышении температуры скорость окисления возрастает. Аналогичную картину можно наблюдать при воздействии рассеянного и, особенно прямого солнечного света. При всех видах внешних воздействий (тепло и свет) в присутствии кислорода в «инертном» полимере происходит образование кислородсодержащих групп: $C=O$, OH , COO , OOH , причем, $C=O$ группы могут быть разных типов — кетонные, альдегидные, сложноэфирные и др. Все эти группы имеют характерные полосы поглощения в ИК-спектре [12]. Внешние воздействия непременно приводят к образованию этих групп в различных количественных соотношениях. Например, при воздействии высоких температур, преобладают кетонные группы, при воздействии излучения — кетонные и альдегидные [13].

Поскольку любые изменения полиэтиленового слоя связаны с возможным изменением его структуры после различных воздействий, представляло интерес проведение соответствующего исследования. В качестве воздействующего фактора использовано УФ-излучение импульсной ксеноновой лампы. Данное решение обусловлено тем, что данное воздействие охватывает широкую область спектра, «захватывая» инфракрасную (ИК) и видимую области и, как следствие, кроме поверхностной дозы облучения, привносит тепловую компоненту [14,15]. Поглощение энергии излучения, происходящее в тонком поверхностном слое облучаемого вещества, приводит к его нагреву и образованию тепловой волны, распространяющейся вглубь материала. Глубина проникновения тепловой волны определяется температуропроводностью вещества. Для режимов, определенных допустимым диапазоном потоков излучения, ранее был проведен расчёт проникновения тепловой волны вглубь образцов, который показал, что глубина проникновения меняется в диапазоне 10–20 мкм при реализуемых режимах облучения [1].

В давних публикациях Д. Н. Лазаревым [16] было доказано, что фотодеструкция полимерных материалов может происходить под влиянием излучения с длинами волн, способных поглощаться облучаемыми объектами.

В связи с вышеизложенным, целью настоящего исследования являлось выявление деформации химических связей макромолекул полиэтилена на поверхности и граничных слоях под воздействием импульсного УФ-облучения, в качестве фактора, подтверждающего его безопасность в составе упаковки продуктов питания.

2. Материалы и методы

В качестве объектов исследования были использованы: пленка полиэтиленовая из полиэтилена низкой плотности (LDPE) по ГОСТ 10354–82¹; пленка полиэтиленовая из LDPE наполненная трехслойная (слои наполнены мелкодисперсной двуокисью титана и пищевой сажой); комбинированный материал для заготовок пакетов типа Пюр-Пак (внутренний слой к продукту из LDPE).

В качестве источника излучения при облучении полиэтиленовых слоев, использована бактерицидная ртутная разрядная лампа низкого давления производства фирмы Philips, модели «tuv-15w», дающая коротковолновое ультрафиолетовое излучение с максимумом в 253,7 нм, обладающее бактерицидным действием. Поверхностная доза облучения в выбранном участке спектра исследования составляла от 18 до 64 мДж/см² в УФ диапазоне, от 540 до 1525 мДж/см² в видимом и от 47 до 57 мДж/см² в инфракрасном диапазоне. При облучении пленочных материалов источник излучения ориентировали над ними в горизонтальной плоскости. Расстояние от лампы до поверхности образца варьировалось в диапазоне 3,5–10 см, длительность импульса 0,7 миллисекунды (мс).

Для изучения структурных изменений поверхностных полиэтиленовых слоев, использован метод ИК Фурье МНПВО (многократно нарушенное полное внутреннее отражение). Этот метод является неразрушающим методом исследования и был опробован ранее при исследовании других упаковочных материалов [15,17].

При выборе метода руководствовались тем, что синтетические полимеры обладают высокими коэффициентами экстинкции для УФ — излучения, т. е. характеристикой того, насколько сильно химическое вещество поглощает свет на заданной длине волны [18,19], а также, предположением, что деструктивные процессы происходят в сравнительно тонких полиэтиленовых поверхностных слоях полимерной упаковки.

Исследования проводились на спектрометре «EQUINOX 55» фирмы BRUKER (Германия) с использованием приставки «HATR» фирмы PIKE.

Использование данного метода основано на том, что на границе раздела фаз образца и оптического материала (селенида цинка) возникает «затухающая волна» ИК излучения, которая проникает в оптически менее плотную среду образца и, при этом регистрируется спектр пропускания микронных слоев образца. Меняя угол падения ИК излучения, или меняя материал кристалла элемента МНПВО, можно последовательно получать спектры более глубоко лежащих слоев материала.

Расшифровку спектров осуществляли сопоставлением с известными данными спектрального анализа и энциклопедическими данными по структуре полиолефинов.

3. Результаты и обсуждение

Для выявления и обсуждения структурных изменений объектов исследования при воздействии выбранного УФ-излучения, в качестве контроля был получен ИК-спектр пленки из LDPE, представленный на Рисунке 1.

Анализ полученных ИК-спектров показал, что имеются всего три значимых области поглощения: 2926/2853 см⁻¹, характеризующие валентные колебания связей С-Н в СН₂-группах; 1473/1463 см⁻¹, относящиеся к деформационным колебаниям ножничного типа δ (HCH); 730/720 см⁻¹ — маятниковые колебания метиленовых групп.

Получены ИК-спектры МНПВО полиэтиленовой пленки, подвергнутой импульсному УФ облучению (Рисунок 2). Сравнение их с контролем позволяет сделать вывод, что определенные изменения имеют место для двух участков спектров в 1700–1500 см⁻¹ и 1200–800 см⁻¹. Можно говорить о появлении дисконтинуума (дискретной группы неразрешившихся полос), а также, с появлением отдельных сформировавшихся полос поглощения. При варьировании режима облучения от менее к более интенсивному (увеличение плотности потока) наблюдается тенденция к росту этих полос. Расстояние лампа-пленка практически не влияет на полученный спектр т. е. на структуру облучаемого образца. Для LDPE пленок, облученных в режиме максимальной плотности энергии, в спектрах появляются непонятные, из-за большой интенсивности, последовательности полос поглощения в окрестностях 1000 см⁻¹. Эта область спектра характерна для деформационных колебаний различных олефинов, и для колебаний простых связей С-О.

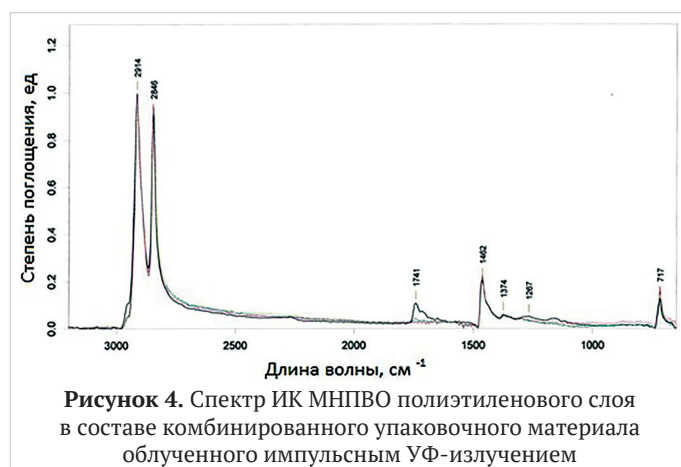
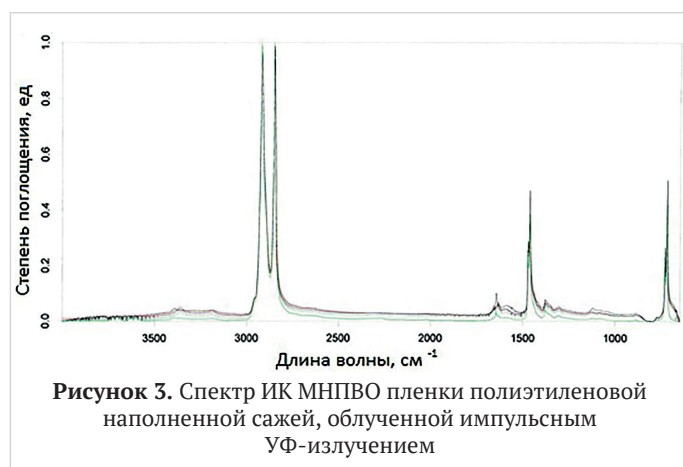
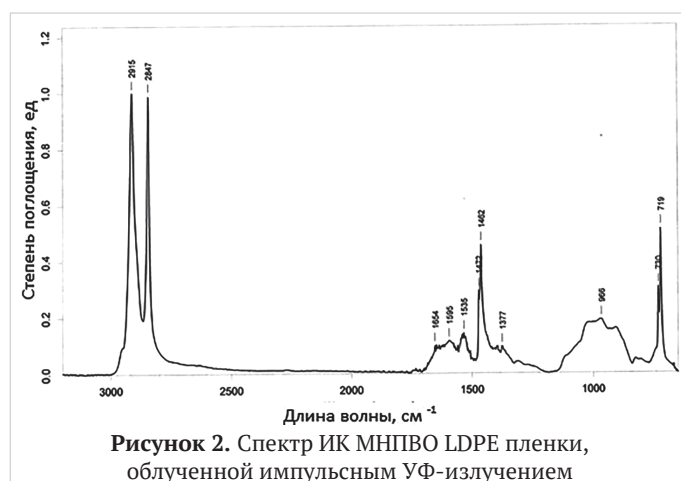
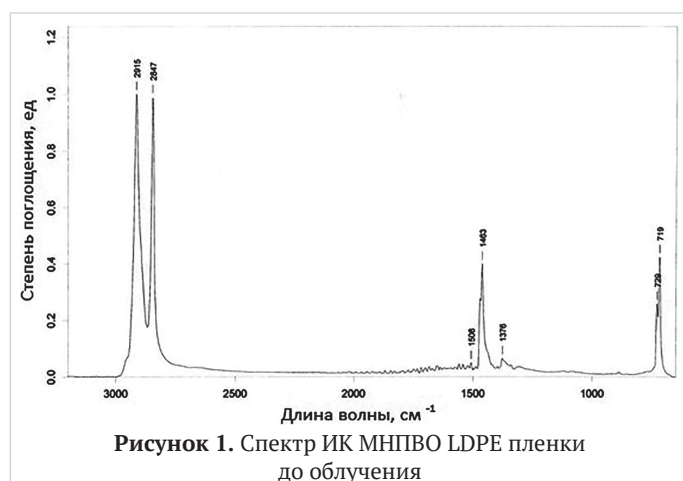
Появление полос в 1000 см⁻¹ диапазоне можно связывать с появлением транс-виниленовых фрагментов типа —СН=СН- и концевых двойных связей типа —СН=СН₂, в этой же области проявляются полосы органических озонидов. Об образовании двойных связей свидетельствуют полосы поглощения при 1654 см⁻¹. Лишь очень сильное растяжение по ординате участка спектра 1800–1500 см⁻¹ позволяет установить наличие поглощения, ответственного за появление фрагментов типа СОН и СООН, т. е. выявить начало процесса фотоокислительной деструкции с образованием альдегидных и карбоксилатных группировок и свидетельствует об обрывах цепи макромолекул полиэтилена, что приводит к появлению дефектов цепи. Существенное искажение спектра в данной области, по сравнению с контролем, в целом, свидетельствует о деструктивных процессах, регистрируемых в области (800–1000 см⁻¹) и, как следствие, подтверждающее снижение безопасности исследуемой пленки.

Спектральные исследования пленки полиэтиленовой наполненной (Рисунок 3) показали, что даже при максимальных режимах облучения, спектр не претерпел таких изменений, которые были отмечены при облучении ненаполненной пленки, даже при минимальном расстоянии от источника излучения до образца. Скорее всего, это связано с наличием в составе многослойного материала сажки, которая является светостабилизатором. Можно констатировать, что, обладая такими свойствами, пленка с данным наполнителем защищает упакованное молоко от фотоокисления. Спектры для данной пленки показали плавный характер накопления изменений в микроструктуре тонкого поверхностного слоя по мере увеличения потока облучения.

Для слоев пленки, наполненной диоксидом титана, спектральная картина практически не отличается от контроля.

Полученный спектр полиэтиленового слоя в составе комбинированного материала (Рисунок 4) показывает появление полосы 1741 см⁻¹, которая отсутствует в спектре контрольного образца. Как уже отмечалось выше, при анализе спектра облученной LDPE пленки эта полоса находится в диапазоне 1800–1500 см⁻¹ и свидетельствует о наличии поглощения, ответственного за появление фрагментов типа СОН и СООН, т. е. выявлении начала процесса фотоокислительной деструкции с образованием альдегидных и карбоксилатных группировок.

¹ ГОСТ 10354–82 «Пленка полиэтиленовая. Технические условия». М: Стандартинформ. 2007. — 23 с.



4. Выводы

Проведенные спектральные исследования показывают, что под влиянием импульсного УФ-облучения, а, возможно и нагрева в свете лампы, в:

- LDPE пленке происходят параллельные процессы обрыва цепей и, предположительно, сшивания, причем процесс обрыва цепи понижает концентрацию свободных радикалов, образующихся в процессе фотоздействия. Продукты окисления полиэтилена обнаружены только при максимальном режиме облучения и в весьма незначительном количестве. Это можно объяснить кратковременностью воздействия. Запись ИК спектров пропускания-отражения этих пленок показывает практически идентичный результат со спектрами необлученных пленок, что свидетельствует о нарушении микроструктуры лишь очень тонкого поверхностного слоя;

- в пленке полиэтиленовой наполненной сажей не происходит существенной деформации химических связей макромолекул и деградиационных процессов. Это можно объяснить тем, что сажа является светостабилизатором и экранирует воздействие облучения;
- в комбинированном материале слой полиэтилена претерпевает незначительные структурные изменения, которые свидетельствуют о начале процесса фотоокислительной деградации.

Сравнение изменения структуры в трех разных упаковочных объектах, содержащих слой полиэтилена, показывает целесообразность и необходимость использования для упаковки пищевой продукции комбинированных и многослойных материалов, в которых даже при экстремальном УФ-облучении, практически отсутствуют процессы фотодеструкции, что подтверждено спектральными исследованиями.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Федотова, О.Б. (2011). Научно-практические аспекты разработки и применения упаковочных материалов с проектируемым комплексом качества и безопасности для молока и молочной продукции. Автореф. дис. докт. техн. наук. Вологда, Вологодская государственная молочно-хозяйственная академия. — 50 с.
- Федотова, О.Б., Мясенко, Д.М. (2016). Исследования санитарно-гигиенических характеристик многослойных полимерных пленок для вакуумной упаковки, модифицированной природными антимикробными компонентами. *Теория и практика переработки мяса*, 1(2), 51–55. <https://doi.org/10.21323/2414-438X-2016-1-2-51-55>
- Фильчакова, С.А. (2008). Санитария и гигиена на предприятиях молочной промышленности. Москва: ДеЛи. 277. ISBN: 978–5–94343–167–8
- Фильчакова, С.А. (2008). Микробиологическая чистота упаковки для молочных продуктов. *Молочная промышленность*, 7, 44–46.
- Kharitonov, V.D., Sherstneva, N.E., Kharitonov, D.V., Yurova, E.A., Kurchenko, V.P. (2019). Changes in physico-chemical properties of milk under ultraviolet radiation, *Foods and raw materials*, 7(1), 161–167. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2019-1-161-167>
- Мясенко, Д.М. (2007, 26–27 июня). Изучение влияния ультрафиолетового излучения различной природы на микробиологические характеристики полимерных материалов. Материалы международной научно-практической конференции. Волгоград, Россия.
- Ершов, Б.Г., Поликарпов, Н.А., Федотова, О.Б., Гольдштейн, Я.А., Киреев, С.Г., Шашковский, С.Г., и др. (2018, 26–28 сентября). Применение импульсных ультрафиолетовых технологий для увеличения сроков хранения скоропортящихся продуктов. Сборник докладов международной научно-практической конференции. Обнинск, Россия
- Федотова, О.Б., Мясенко, Д.М. (2006). Обеззараживание потребительской тары для молочной продукции. *Молочная промышленность*, 12, 76–77.
- Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 005/2011 «О безопасности упаковки» (с изменениями на 18 октября 2016 года)

- (утверждён решением комиссии Таможенного союза от 16 августа 2011 года N769). Москва — 2011.
10. Yang, Y., Hu, C., Zhong, H., Chen, X., Chen, R., Yam, K. L. (2016). Effects of ultraviolet (UV) on degradation of irgafos 168 and migration of its degradation products from polypropylene films. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 64(41), 7866–7873. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b03018>
 11. Wang, Y., Wu, J., Liu, B., Xia, Y., Lin, Q. (2021). Migration of polymer additives and radiolysis products from irradiated PET/PE films into a food simulant. *Food Control*, 124, Article 107886. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.107886>
 12. Сутягин, В.М., Ляпков, А.А. (2010). Физико-химические методы исследования полимеров. Томск: Томский политехнический университет. 140.
 13. Купцов, А.Х., Жижин, Г.Н. (2001). Фурье-КР и Фурье-ИК спектры полимеров (Фурье-спектры комбинационного рассеяния и инфракрасного поглощения полимеров). Москва: Физматлит. 656.
 14. Мяленко, Д.М. (2008). Обеззараживание тары и упаковки УФ — излучением. *Молочная промышленность*, 8, 78.
 15. Мяленко, Д.М. (2008, 18–19 июня). *Комплексное изучение влияния импульсного электромагнитного излучения на полимерные упаковочные материалы*. Материалы Международной научно-практической конференции. Волгоград, Россия.
 16. Лазарев, Д.Н. (1950). Ультрафиолетовая радиация и ее применение. Москва: Госэнергоиздат. 120.
 17. Tertyshnaya, Y.V., Podzorova, M.V. (2020). Effect of UV irradiation on the structural and dynamic characteristics of polylactide and its blends with polyethylene. *Russian Journal of Physical Chemistry B*, 14(1), 167–175. <https://doi.org/10.31857/S0207401X20010173>
 18. Dechant, J., Danz, R., Kimmer, W. (1972). Ultrared spectroscopic studies of polymers, Akademie-Verlag, Berlin. 516. (In German)
 19. Urbaniak-Domagala, W. (2012). The Use of the Spectrometric Technique FTIR-ATR to Examine the Polymers Surface. Chapter in a book: *Advanced Aspects of Spectroscopy*. Technical University of Lodz, Department of Material and Commodity Sciences and Textile Metrology, Poland. 2012. 87–104. <http://dx.doi.org/10.5772/48143>

REFERENCES

1. Fedotova, O.B. (2011). Scientific and practical aspects of the development and use of packaging materials with a projected quality and safety complex for milk and dairy products. Author's abstract of the dissertation for the scientific degree of Doctor of Technical Sciences Vologda, Vologda State Dairy Academy. — 50 p. (In Russian)
2. Fedotova, O.B., Myalenko, D.M. (2016). Investigation of sanitary-hygienic characteristics of multilayer polymer films used for vacuum packaging modified by native antimicrobial components. *Theory and practice of meat processing*, 1(2), 51–55. <https://doi.org/10.21323/2414-438X-2016-1-2-51-55> (In Russian)
3. Filchakova, S.A. (2008). Sanitation and hygiene in the dairy industry. Moscow: DeLi. 277. ISBN: 978-5-94343-167-8 (In Russian)
4. Filchakova, S.A. (2008). Microbiological purity of packages for milk products. *Dairy industry*, 7, 44–46. (In Russian)
5. Kharitonov, V.D., Sherstneva, N.E., Kharitonov, D.V., Yurova, E.A., Kurchenko, V.P. (2019). Changes in physico-chemical properties of milk under ultraviolet radiation, *Foods and raw materials*, 7(1), 161–167. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2019-1-161-167>
6. Mialenko, D.M. (2007, 26–27 June). *Study of the influence of ultraviolet radiation of various nature on the microbiological characteristics of polymeric materials*. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference. Volgograd, Russia. (In Russian)
7. Ershov, B.G., Polikarpov, N.A., Fedotova, O.B., Goldstein, A.A., Kireev, S.G., Shashkovsky, S.G. et al. (2018, 26–28 September). *The application of pulse ultraviolet technologies to increase the storage life of perishable foodstuffs*. Proceedings of the international scientific and practical conference. Obninsk, Russia. (In Russian)
8. Fedotova, O.B., Myalenko, D.M. (2006). Decontamination of consumer tare for milk products. *Dairy industry*, 12, 76–77. (In Russian)
9. Decision of the Council of the Eurasian economic Commission of August 16, 2011 № 769 “On amendments to the technical regulations of the Customs Union “On the safety of packaging” (TR CU005/2011)” (as amended on October 18, 2016). Moscow, 2011. (in Russian)
10. Yang, Y., Hu, C., Zhong, H., Chen, X., Chen, R., Yam, K. L. (2016). Effects of ultraviolet (UV) on degradation of irgafos 168 and migration of its degradation products from polypropylene films. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 64(41), 7866–7873. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b03018>
11. Wang, Y., Wu, J., Liu, B., Xia, Y., Lin, Q. (2021). Migration of polymer additives and radiolysis products from irradiated PET/PE films into a food simulant. *Food Control*, 124, Article 107886. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.107886>
12. Sutyagin, V.M., Lyapkov, A.A. (2010). Physicochemical methods for the study of polymers. Tomsk: Tomsk Polytechnic University. 140. (In Russian)
13. Kuptsov, A. Kh., Zhizhin, G.N. (2001). Fourier-Raman and Fourier-IR spectra of polymers (Fourier-spectra of Raman scattering and infrared absorption of polymers). Moscow: Fizmatlit. 656. (In Russian)
14. Mialenko, D.M. (2008). Decontamination of tare and packaging with UV-radiation. *Dairy industry*, 8, 78. (In Russian)
15. Myalenko, D.M. (2008, 18–19 June). *Comprehensive study of the effect of pulsed electromagnetic radiation on polymer packaging materials*. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference. Volgograd, Russia. (In Russian)
16. Lazarev, D.N. (1950). Ultraviolet radiation and its applications. Moscow: Gosenergoizdat. 120. (In Russian)
17. Tertyshnaya, Y.V., Podzorova, M.V. (2020). Effect of UV irradiation on the structural and dynamic characteristics of polylactide and its blends with polyethylene. *Russian Journal of Physical Chemistry B*, 14(1), 167–175. <https://doi.org/10.31857/S0207401X20010173>
18. Dechant, J., Danz, R., Kimmer, W. (1972). Ultrared spectroscopic studies of polymers, Akademie-Verlag, Berlin. 516. (In German)
19. Urbaniak-Domagala, W. (2012). The Use of the Spectrometric Technique FTIR-ATR to Examine the Polymers Surface. Chapter in a book: *Advanced Aspects of Spectroscopy*. Technical University of Lodz, Department of Material and Commodity Sciences and Textile Metrology, Poland. 2012. 87–104. <http://dx.doi.org/10.5772/48143>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	AUTHOR INFORMATION
Принадлежность к организации	Affiliation
Федотова Ольга Борисовна — доктор технических наук, ведущий научный сотрудник, лаборатория технологии молочно-белковых концентратов, пищевых добавок и производства продуктов на их основе, Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности 115093, Москва, ул. Люсиновская, 35, стр.7 Тел.: +7-499-237-03-33 E-mail: o_fedotova@vnimi.org ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7348-6019 Пряничникова Наталия Сергеевна — кандидат технических наук, старший научный сотрудник, лаборатория стандартизации, метрологии и патентно-лицензионных работ, Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности 115093, Москва, ул. Люсиновская, 35, стр.7 Тел.: +7-499-237-03-83 E-mail: n_pryanichnikova@vnimi.org ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1304-1517 * автор для контактов	Olga B. Fedotova — doctor of technical sciences, leading researcher, laboratory of technology of milk-protein concentrates, food additives and production of products based on them, All-Russian Dairy Research Institute 115093 Moscow, Lyusinovskaya Str., 35 buildings 7 Tel.: +7-499-237-03-33 E-mail: o_fedotova@vnimi.org ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7348-6019 Nataliya S. Pryanichnikova — candidate of technical sciences, senior researcher, laboratory of standardization, metrology and patent licensing works, All-Russian Dairy Research Institute 115093 Moscow, Lyusinovskaya Str., 35 buildings 7 Tel.: +7-499-237-03-83 E-mail: n_pryanichnikova@vnimi.org ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1304-1517 * corresponding author
Критерии авторства	Contribution
Авторы в равных долях имеют отношение к написанию рукописи и одинаково несут ответственность за плагиат	Authors equally relevant to the writing of the manuscript, and equally responsible for plagiarism
Конфликт интересов	Conflict of interest
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов	The authors declare no conflict of interest
Поступила 22.02.2021	Received 22.02.2021
Поступила после рецензирования 14.03.2021	Accepted in revised 14.03.2021
Принята в печать 25.03.2021	Accepted for publication 25.03.2021