УДК 637.1:521.798 https://doi.org/10.21603/1019-8946-2023-6-16

ВЛИЯНИЕ БИОРАЗЛАГАЕМОЙ УПАКОВКИ НА СОХРАННОСТЬ ТВОРОГА И ТВОРОЖНЫХ ПРОДУКТОВ В ПРОЦЕССЕ ХРАНЕНИЯ

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

Александр Александрович Агарков, канд. техн. наук, младший научный сотрудник
Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности, г. Москва

Исследована принципиальная возможность применения биоразлагаемых материалов на основе полилактида и полибутилен адипат ко-терефталата для упаковывания и хранения пищевых модельных творожных продуктов. Представлены данные по изменению химических (титруемая кислотность, активная кислотность, перекисное число, анизидиновое число и пр.) и органолептических показателей исследуемых продуктов. Установлено увеличение показателей окислительной порчи модельных продуктов к концу срока хранения на 9,6–23,3 % в зависимости от соотношения творога обезжиренного и массы творожной 18,0 % в испытуемых образцах. Изменение активной кислотности практически у всех исследованных образцов протекает плавно и к концу срока хранения уменьшилось на 8,0–10,0 % по сравнению с контрольными измерениями фоновой точки. Полученные результаты позволяют сделать вывод о перспективности использования материалов на основе полилактида и полибутилен адипат ко-терефталата в качестве упаковки для творога и творожных продуктов.

Ключевые слова: биоразлагаемая упаковка, творожные продукты, хранение, физико-химические показатели, полилактид, полибутилен адипат ко-терефталат

ВВЕДЕНИЕ

Рынок упаковки 2020 года в России оценивается в 1 трлн 200 млрд руб. и по прогнозам к 2025 году может увеличиться на 25–30 %. Доля упаковки из полимерных материалов составляет примерно 38 % от общего объема [1, 2]. По данным аналитического агентства Mordorintelligence, рынок биоразлагаемой пластиковой упаковки оценивался в 2,77 млрд долларов США в 2020 году и, как ожидается, достигнет 8,53 млрд долларов США к 2026 году и будет расти со среднегодовым темпом роста 20,7 % в течение прогнозируемого периода (2021–2026 годы).

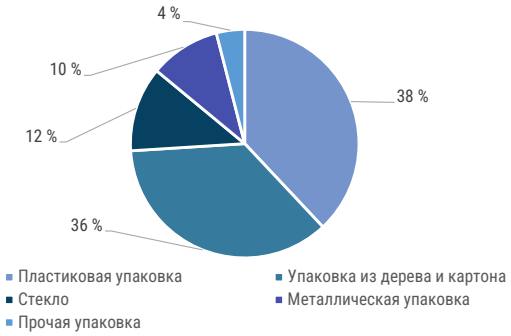


Рисунок 1. Рынок упаковки России [2]

Следует учитывать, что упаковка должна не только выполнять функцию обеспечения сохранности пищевой продукции на протяжении всего жизненного цикла [3–8], но и быть экологичной. Полимерные упаковочные материалы, которые имеют непосредственный контакт с продуктами питания, как правило, очень сложно разделять для дальнейшей переработки и рециклинга и, зачастую, они сжигаются или попадают на полигон для захоронения. Это создает дополнительную экологическую нагрузку.

Биоразлагаемые материалы рассматриваются учеными и специалистами всего мира как потенциальная альтернатива традиционным синтетическим полимерам, способная обеспечить необходимый уровень сохранности пищевой продукции. При этом, за счет своей способности к разложению, такие материалы могут полностью разрушится в условиях промышленного компостирования без выделения в атмосферу вредных химических элементов.

Биоразлагаемые пластики уже с успехом применяются при производстве одноразовой посуды и других изделий с коротким сроком службы (одноразовые контейнеры, мешки для мусора, пакеты и прочие изделия) [8]. Несмотря на это, до сих пор не найдены идеальные решения в подходе к созданию биоразлагаемых материалов для продуктов питания. Пищевая и молочная продукции – это живая сложносоставная система с различным комплексом биохимических свойств, которые могут влиять на сохранность продукта в биоразлагаемых композициях [9].

В последнее время возрастает интерес к изучению биоразлагаемых материалов, в том числе модифицированных функциональными компонентами. Наиболее эффективно такие материалы проявят себя при контакте с продуктами питания твердообразной структуры. Придание функциональных свойств полимерным и биоразлагаемым пленкам, предназначенным для пи-

щевой упаковки, позволит снизить риски повторного обсеменения в процессе упаковывания, а также сохранить продукцию на всем ее жизненном цикле [10–13], что особенно актуально для продукции функциональной направленности и детского питания [3, 6, 8, 9].

Во Всероссийском научно исследовательском институте молочной промышленности проводятся работы по созданию и применению биоразлагаемых материалов на основе природных компонентов в пищевых отраслях промышленности.

Цель исследования – проведение экспериментальных работ по определению потенциала хранимоспособности модельных продуктов на основе творога, упакованных в лабораторных условиях в биоразлагаемый материал. В результате проведенных исследований получен массив данных, позволяющий оценить возможность применения упаковки на основе экологичных разлагаемых материалов, а также определить потенциал влияния состава продукта на данную упаковку в процессе хранения. Исследования представляют интерес для молочной отрасли, так как разработанные биоразлагаемые материалы, в перспективе, позволят обеспечить сохранность продукции на всем протяжении ее срока хранения, а после истечения срока эксплуатации упаковки существенно снизят нагрузку на окружающую среду и экологию.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве биоразлагаемых объектов исследования выбрана полимерная композиция на основе полимолочной кислоты (PLA) и полибутилен адипат ко-терефталата (PBAT), представляющая собой пленку толщиной 25 мкм слегка матового цвета, из которой в лабораторных условиях были сформированы пакеты. Внешний вид пленки представлен на рисунке 2.

Рисунок 2. Внешний вид пленки из биоразлагаемого материала на основе PLA/PBAT

В качестве анализируемой продукции были выбраны творог обезжиренный, творог с массовой долей жира 9,0 % и специально подготовленные Модельные смеси с добавлением 18 % творожной массы с курагой. Данные Модельные смеси были подготовлены для того, чтобы оценить потенциально возможное влияние высоких концентраций жира, белка, влаги и кислотности продукта на биоразлагаемую упаковку в процессе хранения в ней продукции. Описание образцов представлено в таблице 1.

PLA – биоразлагаемый и возобновляемый алифатический полиэфир, который получают путем прямой поликонденсации молочной кислоты. В последнее время данный материал расширяет свою область применения: от производства одноразовой посуды и предметов обихода до производства пленок сельскохозяйственного назначения, биоразлагаемых имплантов применяемых в медицине. PLA обладает комплексом перспективных для пищевой упаковки свойств, такими как: высокий модуль упругости, высокая прочность и прозрачность (в аморфном состоянии), простота обработки, а также хорошей технологичностью [14]. Однако в большинстве случаев некоторые особенности PLA, такие как высокая хрупкость, низкая температура тепловой деформации и низкая скорость кристаллизации, могут оказаться критическими при производстве упаковочных материалов для отдельных видов продукции. Эту проблему можно решить путем добавления к основной матрице PLA других биоразлагаемых компонентов, например, PBAT состоящего из двух димер BT и BA придающих материалу необходимую гибкость и высокую пластичность. Структурная формула PLA и PBAT представлена на рисунках 3 и 4.

Таблица 1
Описание опытных образцов Модельных смесей

Наименование образца	Смесь творога обезжиренного и массы творожной 18,0 % с курагой в соотношении
Образец № 1	1 : 1
Образец № 2	1 : 2
Образец № 3	2 : 1
Образец № 4	1 : 3
Образец № 5	3 : 1
Образец № 6	2 : 3
Образец № 7	3 : 2

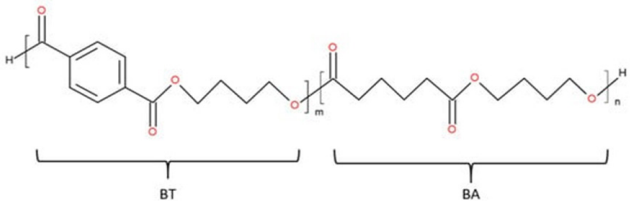


Рисунок 3. Химическая структура полибутилен адипат ко-терефталата (PBAT)

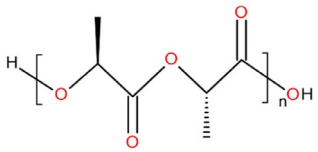


Рисунок 4. Химическая структура полимолочной кислоты (полилактида) (PLA)

Для оценки упаковочного материала и упакованных творожных продуктов применяли стандартизованные методы контроля. Динамику изменения свойств модельных продуктов на основе творога проводили по следующим группам показателей: органолептические (внешний вид, вкус, запах, цвет и др.), физико-химические: (изменение содержания жира, белка, влаги, кислотности и pH), показатели окислительной порчи (изменение анизидинового числа).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты влияния свойств творожных продуктов на биоразлагаемую упаковку PLA/PBAT при хранении представлены на рисунке 5.

Проведены комплексные исследования по влиянию творога обезжиренного, творога массовой долей жира 9,0 % и массы творожной 18,0 %, жирности на физико-механические показатели биоразлагаемой пленки в процессе хранения. Показано что разрушающее напряжение при разрыве, относительное удлинение при разрыве, прочность сварных соединений изменяется по отношению к контрольному образцу на 5–15 % в зависимости от показателя.

Результаты исследований изменения прочностных показателей биоразлагаемой упаковки на основе PLA/PBAT при хранении в ней опытных образцов творожных продуктов представлены в таблице 2.

Показано что разрушающее напряжение при разрыве, относительное удлинение при разрыве, прочность сварных соединений изменяется по отношению к контрольному образцу на 5–10 % в зависимости от показателя. Данные изменения связаны с особенностью свойств входящих в состав компонентов: PLA и PBAT имеют различную структуру что приводит к неоднородности материала.

Измерение значений показателей массовая доля влаги, титруемая кислотность и активная кислотность у опытных образцов проводили через каждые 7 суток в течение всего срока хранения – 35 суток Максимальный срок хранения выбран на основании, информации от изготовителя творога и творожных продуктов. Измерения таких показателей как массовая доля белка, массовая доля жира и показатели окислительной порчи проводили при закладке на хранение и в конце срока годности. Результаты исследований представлены на рисунке 6 и в сводной таблице 3.

Анализ полученных данных показал, что у всех исследуемых образцов (№ 1–№ 7) наблюдается увеличение титруемой кислотности и падение активной кислотности, незначительное увеличение анизидинового числа и перекисного числа, что является характерным для данной продукции. Отклонения по содержанию белка и жира в началь-

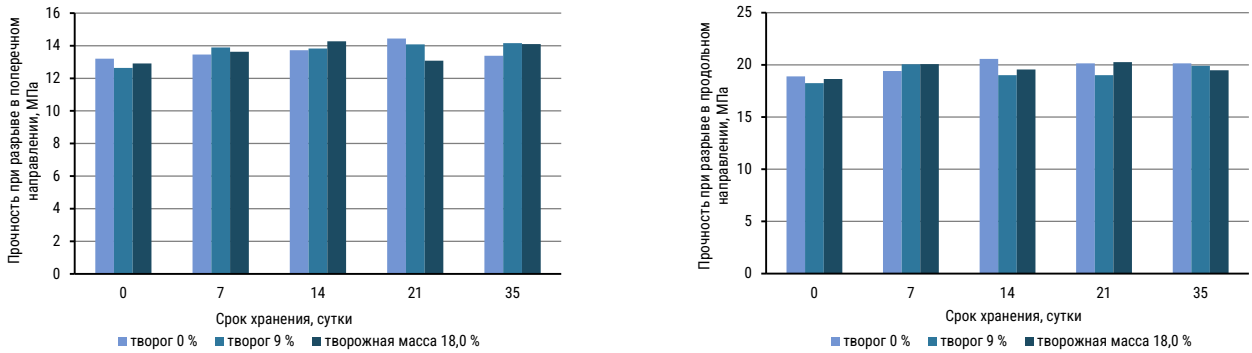
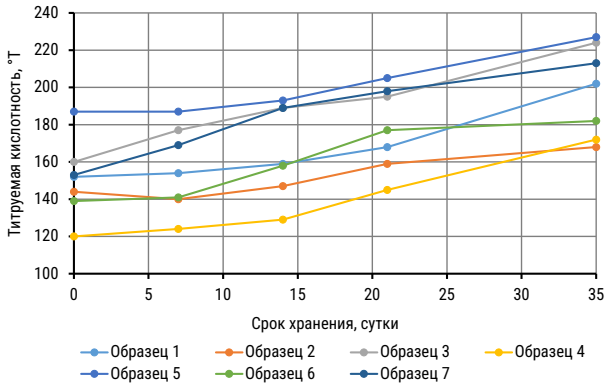


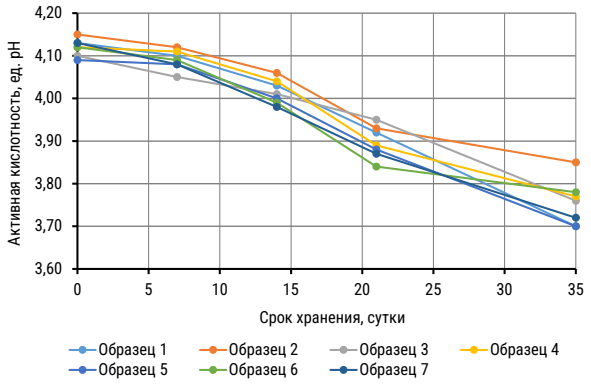
Рисунок 5. Результаты изменения прочности при разрыве биоразлагаемой упаковки PLA/PBAT при хранении в ней творожных продуктов

Таблица 2
Оценка изменения физико-механических характеристик биоразлагаемой пленки PLA/PBAT при хранении упакованных творожных продуктов

Наименование показателя	Срок хранения, сутки					
	Контроль	0	7	17	21	35
Образец № 1 (соотношение творог обезжиренный и масса творожная с курагой 18,0 % 1 : 1)						
Прочность сварного шва, МПа	13,40	13,52	13,82	13,97	14,39	14,73
Прочность при разрыве в продольном направлении, МПа	16,61	16,72	17,4	17,79	17,67	18,19
Прочность при разрыве в поперечном направлении, МПа	12,57	12,71	14,17	13,92	13,20	13,99
Образец № 2 (соотношение творог обезжиренный и масса творожная с курагой 18,0 % 1 : 2)						
Прочность сварного шва, МПа	12,76	12,96	13,15	13,92	13,77	14,02
Прочность при разрыве в продольном направлении, МПа	16,95	17,64	18,92	18,78	18,23	19,03
Прочность при разрыве в поперечном направлении, МПа	13,37	13,04	13,25	14,05	14,3	14,03
Образец № 3 (соотношение творог обезжиренный и масса творожная с курагой 18,0 % 2 : 1)						
Прочность сварного шва, МПа	13,56	13,26	14,26	14,08	17,4	13,91
Прочность при разрыве в продольном направлении, МПа	16,95	17,35	18,30	18,58	19,07	19,61
Прочность при разрыве в поперечном направлении, МПа	13,37	13,67	14,68	14,28	14,60	14,51
Образец № 4 (соотношение творог обезжиренный и масса творожная с курагой 18,0 % 1 : 3)						
Прочность сварного шва, МПа	14,76	13,80	14,33	14,38	13,18	14,18
Прочность при разрыве в продольном направлении, МПа	17,95	18,50	19,87	19,92	19,50	18,57
Прочность при разрыве в поперечном направлении, МПа	14,37	15,66	15,25	15,35	15,85	16,26
Образец № 5 (соотношение творог обезжиренный и масса творожная с курагой 18,0 % 3 : 1)						
Прочность сварного шва, МПа	12,76	13,17	14,87	14,64	14,26	14,20
Прочность при разрыве в продольном направлении, МПа	18,95	19,12	18,48	19,99	19,21	20,14
Прочность при разрыве в поперечном направлении, МПа	14,37	15,20	15,05	15,71	16,09	15,60
Образец № 6 (соотношение творог обезжиренный и масса творожная с курагой 18,0 % 2 : 3)						
Прочность сварного шва, МПа	13,76	14,05	14,72	14,58	14,12	14,85
Прочность при разрыве в продольном направлении, МПа	16,95	17,93	18,09	19,09	19,34	19,28
Прочность при разрыве в поперечном направлении, МПа	14,47	14,85	14,03	16,27	15,60	15,58
Образец № 7 (соотношение творог обезжиренный и масса творожная с курагой 18,0 % 3 : 2)						
Прочность сварного шва, МПа	12,76	13,13	14,18	14,78	14,52	13,73
Прочность при разрыве в продольном направлении, МПа	16,95	17,03	18,92	19,92	19,07	19,96
Прочность при разрыве в поперечном направлении, МПа	14,37	15,66	15,79	16,53	16,12	15,64



а



б

Рисунок 6. Изменение титруемой кислотности (*а*) и активной кислотности (*б*) опытных образцов творожных продуктов при хранении в биоразлагаемой упаковке на основе PLA/PBAT

Таблица 3
Результаты физико-химических исследований опытных образцов продуктов при хранении в биоразлагаемой упаковке

Наименование показателя	Срок хранения, сутки				
	0	7	14	21	35
Образец № 1 (соотношение творог обезжиренный и масса творожная с курагой 18,0 % 1 : 1)					
Массовая доля белка, %	11,70 ± 0,25	–	–	–	11,53 ± 0,25
Массовая доля жира, %	7,50 ± 0,50	–	–	–	7,50 ± 0,50
Массовая доля влаги, %	65,30 ± 0,30	65,56 ± 0,30	62,39 ± 0,30	63,40 ± 0,30	63,90 ± 0,30
Перекисное число, ммоль акт О/кг	1,19 ± 0,06	–	–	–	1,45 ± 0,06
Анизидиновое число у.е.	1,02 ± 1,13	–	–	–	1,20 ± 1,13
Образец № 2 (соотношение творог обезжиренный и масса творожная с курагой 18,0 % 1 : 2)					
Массовая доля белка, %	8,56 ± 0,25	–	–	–	8,43 ± 0,25
Массовая доля жира, %	11,50 ± 0,50	–	–	–	11,50 ± 0,50
Массовая доля влаги, %	62,00 ± 0,30	59,26 ± 0,30	59,93 ± 0,30	60,45 ± 0,30	61,94 ± 0,30
Перекисное число, ммоль акт О/кг	2,34 ± 0,06	–	–	–	2,85 ± 0,06
Анизидиновое число у.е.	1,62 ± 1,13	–	–	–	1,80 ± 1,13
Образец № 3 (соотношение творог обезжиренный и масса творожная с курагой 18,0 % 2 : 1)					
Массовая доля белка, %	12,21 ± 0,25	–	–	–	12,25 ± 0,25
Массовая доля жира, %	6,00 ± 0,50	–	–	–	6,00 ± 0,50
Массовая доля влаги, %	70,30 ± 0,30	69,25 ± 0,30	69,10 ± 0,30	70,02 ± 0,30	71,09 ± 0,30
Перекисное число, ммоль акт О/кг	2,64 ± 0,06	–	–	–	3,01 ± 0,06
Анизидиновое число у.е.	1,87 ±1,13	–	–	–	2,00 ± 1,13
Образец № 4 (соотношение творог обезжиренный и масса творожная с курагой 18,0 % 1 : 3)					
Массовая доля белка, %	8,19 ± 0,25	–	–	–	8,15 ± 0,25
Массовая доля жира, %	12,50 ± 0,50	–	–	–	13,00 ± 0,50
Массовая доля влаги, %	59,20 ± 0,30	57,28 ± 0,30	57,74 ± 0,30	58,69 ± 0,30	60,39 ± 0,30
Перекисное число, ммоль акт О/кг	2,81 ± 0,06	–	–	–	3,08 ± 0,06
Анизидиновое число у.е.	2,01 ± 1,13	–	–	–	2,31 ± 1,13
Образец № 5 (соотношение творог обезжиренный и масса творожная с курагой 18,0% 3 : 1)					
Массовая доля белка, %	13,89 ± 0,25	–	–	–	13,33 ± 0,25
Массовая доля жира, %	6,50 ± 0,50	–	–	–	6,50 ± 0,50
Массовая доля влаги, %	74,20 ± 0,30	73,20 ± 0,30	71,71 ± 0,30	72,18 ± 0,30	72,36 ± 0,30
Перекисное число, ммоль акт О/кг	2,77 ± 0,06	–	–	–	3,05 ± 0,06
Анизидиновое число у.е.	1,92 ± 1,13	–	–	–	2,11 ± 1,13
Образец № 6 (соотношение творог обезжиренный и масса творожная с курагой 18,0 % 2 : 3)					
Массовая доля белка, %	9,87 ± 0,25	–	–	–	9,32 ± 0,25
Массовая доля жира, %	12,50 ± 0,50	–	–	–	13,00 ± 0,50
Массовая доля влаги, %	65,40 ± 0,30	65,69 ± 0,30	63,87 ± 0,30	63,50 ± 0,30	63,30 ± 0,30
Перекисное число, ммоль акт О/кг	2,82 ± 0,06	–	–	–	3,11 ± 0,06
Анизидиновое число у.е.	1,99 ± 1,13	–	–	–	2,20 ± 1,13
Образец № 7 (соотношение творог обезжиренный и масса творожная с курагой 18,0 % 3 : 2)					
Массовая доля белка, %	10,48 ± 0,25	–	–	–	10,34 ± 0,25
Массовая доля жира, %	7,50 ± 0,50	–	–	–	7,50 ± 0,50
Массовая доля влаги, %	66,80 ± 0,30	72,60 ± 0,30	68,33 ± 0,30	69,18 ± 0,30	70,59 ± 0,30
Перекисное число, ммоль акт О/кг	2,55 ± 0,06	–	–	–	2,90 ± 0,06
Анизидиновое число у.е.	1,73 ± 1,13	–	–	–	1,88 ± 1,13

ной и конечной точке хранения связаны с некоторой неоднородностью продукта при подготовке образцов (модельные продукты для исследований подготавливали путем механического перемешивания в лабораторных условиях). Увеличение показателей окислительной порчи к концу срока хранения составило 9,6–23,3 % в зависимости от соотношения творога обезжиренного и массы творожной 18,0 % в испытуемом образце.

Как видно из представленных на рисунке 6 данным, характер изменения исследуемых показателей одинаковый для всех 7 опытных образцов. К концу срока хранения значения титруемой кислотности увеличилось на 38,0–40,0 % для образцов № 3, 4 и 7, наименьшее нарастание кислотности наблюдалось у образца № 2 (16,7 %). Изменение активной кислотности практически у всех образцов протекает плавно и к концу срока хранения уменьшилось на 8,0–10,0 % по сравнению с контрольными измерениями фоновой точки.

ВЫВОДЫ

Анализ полученных результатов показывает, что к концу 35 суток хранения модельных образцов продукции, творога обезжиренного, творога с массовой долей жира 9,0 % и массы творожная 18,0 % жира, упакованных в лабораторных условиях в биоразлагаемый упаковочный материал на основе PLA и PBAT не деформируется и не разрушается, что дает хорошие предпосылки для ее применения в качестве альтернативы традиционно применяемым синтетическим материалам. ■

EFFECT OF BIODEGRADABLE PACKAGING ON SAFETY INDICATORS OF COTTAGE CHEESE AND COTTAGE CHEESE PRODUCTS DURING STORAGE

Alexander A. Agarkov
All-Russian Research Institute of Dairy Industry, Moscow

ORIGINAL ARTICLE

Polylactide and polybutylene adipate co-terephthalate are sources of biodegradable packaging materials. This research featured the effect of these packaging and storage materials on cottage cheese model products. It covered sensory properties and physicochemical variables, e.g., titrated acidity, active acidity, peroxide number, anisidine number, etc. By the end of shelf-life, oxidative spoilage increased by 9.6–23.3 %, depending on the ratio of low-fat cottage cheese to 18.0 % curd mass. All the experimental samples demonstrated very smooth changes in active acidity, which dropped by 8.0–10.0 % by the end of shelf-life. In this research, polylactide and polybutylene adipate co-terephthalate showed good prospects as packaging for cottage cheese and cottage cheese products.

Keywords: biodegradable packaging, cottage cheese products, storage, physical and chemical parameters

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Бизнес-вектор: Выпуск за 31 января 2020. Смотреть онлайн** [Электронный ресурс]. URL: https://tv.rbc.ru/archive/business_vector/5e37ec482ae5963fa02103d0 (дата обращения: 18.04.2023).
2. **Рынок упаковки России. Анализ и прогноз развития** [Электронный ресурс]. URL: https://blog.pagbac.ru/obzor-rynka-upakovki-v-rossii-tendenczii-i-prognoz-razvitiya/ (дата обращения: 18.04.2023).
3. **Радаева, И. А.** Принципы обеспечения качества отечественного сухого молока / И. А. Радаева, Е. Е. Илларионова, С. Н. Туровская [и др.] // Пищевая промышленность. 2019. №. 9. С. 54–57.
4. **Пряничникова, Н. С.** Съедобная упаковка: транспорт для функциональных и биоактивных соединений / Н. С. Пряничникова // Молочная река. 2020. №. 4 (80). С. 32–34.
5. **Пряничникова, Н. С.** Защитные покрытия для пищевых продуктов / Н. С. Пряничникова // Современные достижения биотехнологии. Техника, технологии и упаковка для реализации инновационных проектов на предприятиях пищевой и биотехнологической промышленности материалы VII Международной научно-практической конференции. Пятигорск, 2020. С. 86–89.
6. **Пряничникова, Н. С.** Использование приемов квалиметрического проектирования при создании функциональных покрытий на продуктах питания / Н. С. Пряничникова, О. Б. Федотова // Современная биотехнология: актуальные вопросы, инновации и достижения. Сборник тезисов Всероссийской с международным участием онлайн-конференции. Под общей редакцией А.Ю. Просекова. 2020. С. 141–143.
7. **Юрова, Е. А.** Оценка качества и хранимоспособности молочных продуктов функциональной направленности / Е. А. Юрова, С.А. Фильчакова // Переработка молока. 2019. № 10. С. 6–11.
8. **Al-Itry, R.** Improvement of thermal stability, rheological and mechanical properties of PLA, PBAT and their blends by reactive extrusion with functionalized epoxy / R. Al-Itry, K. Lamnawar, A. Maazouz // Polymer Degradation and Stability. Elsevier, 2012. Vol. 97, № 10. P. 1898–1914.
9. **Федотова, О. Б.** О биоразлагаемой упаковке и перспективе ее использования / О. Б. Федотова // Молочная промышленность. 2020. №. 1. С. 10–12.
10. **Кручинин, А. Г.** Исследование влияния белкового профиля на структурно-механические параметры молочных биосистем с промежуточной влажностью / А. Г. Кручинин, Е. Е. Илларионова [и др.] // Пищевая промышленность. 2023. № 1. С. 59–62.
11. **Zhao, X.** Narrowing the Gap for Bioplastic Use in Food Packaging: An Update / X. Zhao, K. Cornish, Y. Vodovotz // Environmental Science & Technology. 2020. Vol. 54, № 8. P. 4712–4732.
12. **Hobbs, C. E.** Recent Advances in Bio-Based Flame Retardant Additives for Synthetic Polymeric Materials / C. E. Hobbs // Polymers. Multidisciplinary Digital Publishing Institute, 2019. Vol. 11, № 2. P. 224.
13. **Maraveas, C.** Production of Sustainable and Biodegradable Polymers from Agricultural Waste / C. Maraveas // Polymers. Multidisciplinary Digital Publishing Institute, 2020. Vol. 12, № 5. P. 1127.
14. **Su, S.** Polylactide (PLA) and its blends with poly(butylene succinate) (PBS): A brief review / S. Su [et al.] // Polymers. MDPI AG, 2019. Vol. 11, № 7.