

Достижения и перспективы развития полимерной упаковки мяса и полуфабрикатов

А. А. Семенова* , В. В. Насонова , Н. М. Ревуцкая , М. В. Трифонов 

ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН,
109316, Россия, г. Москва, ул. Талалихина, 26

Дата поступления в редакцию: 15.08.2018
Дата принятия в печать: 20.09.2018

*e-mail: a.semenova@fneps.ru



© А. А. Семенова, В. В. Насонова, Н. М. Ревуцкая, М. В. Трифонов, 2018

Аннотация. В условиях наращивания и последующего сохранения достигнутых объемов производства мяса в Российской Федерации, потребление мясной продукции в переработанном виде постоянно увеличивается. В настоящее время полуфабрикаты вышли на первое место в общей структуре производства и потребления мясной продукции, обогнав по совокупности все виды переработанной продукции. На фоне усиливающейся конкуренции между отечественными производителями возрастают требования к упаковке основных видов переработанной продукции – отрубов и кусковых полуфабрикатов, как к важному драйверу продаж. Огромную роль в развитии упаковочных решений для промышленности играют научные исследования. Настоящий обзор посвящен основным направлениям работ ученых разных стран в этой области. Представлены современные научные достижения в области применения вакуумной упаковки для охлажденного мяса и полуфабрикатов, включая ее разновидности в виде термоусадочных материалов и «скин»-упаковки. Отмечено, что основное внимание уделено вопросам формирования показателей безопасности и качества мясной продукции, а также функциональности и «барьерности» упаковочных материалов. Рассмотрены основные аспекты использования упаковки в условиях модифицированной газовой атмосферы с различным составом газовых смесей, в том числе с монооксидом углерода и высоким содержанием кислорода, способствующих поддержанию красного цвета мяса. Обсуждены дальнейшие направления в развитии технологии су-вид, а также активной и интеллектуальной упаковки. Поиск новых идей в области активной и умной упаковки поможет лучше контролировать вопросы увеличения сроков годности, регулирования свежести и поддержания стабильного качества мясной продукции.

Ключевые слова. Мясо, полимерные материалы, вакуум, модифицированная газовая атмосфера, су-вид, активная упаковка, интеллектуальная упаковка, качество, сроки годности

Для цитирования: Достижения и перспективы развития полимерной упаковки мяса и полуфабрикатов / А. А. Семенова, В. В. Насонова, Н. М. Ревуцкая [и др.] // Техника и технология пищевых производств. – 2018. – Т. 48, № 3. С. 161–174. DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2018-3-161-174>.

Review article

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

Achievement and Future Developments of Polymer Materials for Meat and Semi-Finished Products

A.A. Semenova* , V.V. Nasonova , N.M. Revutskaya , M.V. Trifonov 

V.M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems
of Russian Academy of Sciences,
26, Talalihin Str., Moscow, 109316, Russia

Received: August 15, 2018
Accepted: September 20, 2018

*e-mail: a.semenova@fneps.ru



© А.А. Семенова, V.V. Nasonova, N.M. Revutskaya, M.V. Trifonov, 2018

Abstract. Consumption of unprocessed meat products in the conditions of increasing and subsequent preservation of achieved meat production volumes in the Russian Federation is continue to increase. At present, semi-finished products occupied first in the overall structure of production and consumption meat products, having overtaken in aggregate all types of processed products. In the background of increasing competition between domestic producers, the requirements for the packaging of the main types of unprocessed products – cuts and lumpy semi-finished products – will be continue to increase as an important driver of sales. Research studies play an important role in the development of packaging solutions for industry. This review focuses on the main areas of scientists studying from different countries. Modern scientific achievement in the field of vacuum packaging for chilled meat and semi-finished products including heat-shrinkable materials and skin packaging are presented. Special attention was paid to the forming safety and quality indexes of meat products, as well as functionality and “barrier” of packaging materials. Basic aspects of modified atmosphere packaging with different gas mixture including monoxide carbon and high oxygen using to maintain the desirable bright red color meat are considered.

The further directions for development of technology sous-vide are discussed, as well as active and intelligent packaging. The search for new ideas in the field of active and smart packaging will help for better controlling shelf life, regulating freshness and maintaining stable quality of meat products.

Keywords. Meat, polymer materials, vacuum, modified atmosphere packaging, sous-vide, active packaging, smart packaging, quality, shelf-life

For citation: Semenova A.A., Nasonova V.V., Revutskaya N.M., and Trifonov M.V. Achievement and Future Developments of Polymer Materials for Meat and Semi-finished Products. *Food Processing: Techniques and Technology*, 2018, vol. 48, no. 3, pp.161–174. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2018-3-161-174>.

Введение

Современное производство продуктов питания не представляется без применения полимерной упаковки. Если раньше основной целью ее использования считалась защита продукта от загрязнения, то сегодня упаковка выполняет множество функций. Среди них – презентабельность, информативность, обеспечение наилучших условий при проведении технологических и логистических процессов (охлаждение, складирование и/или размещение при холодильном хранении, поддержание оптимальной среды в процессе хранения), удобство использования продукта для потребителей (легкость вскрытия и возможность повторного закрытия, пригодность к доведению до кулинарной готовности и разогреванию).

Сегодня все чаще можно услышать мнение о том, что производители продуктов питания конкурируют друг с другом через упаковку. Полимерная упаковка существенно изменяет сроки годности пищевых продуктов. Она позволяет с минимальными затратами транспортировать их на дальние расстояния, способствует сохранению высокого качества и снижению потерь на всех этапах производства, хранения, реализации и потребления.

Успехи упаковки очевидны, но не окончательны. Многие отечественные и зарубежные ученые прогнозируют выход упаковки продуктов питания на качественно новый уровень.

Настоящая статья носит обзорный характер и посвящена достижениям и перспективам в области применения полимерной упаковки для наиболее проблемной в хранении пищевой продукции – охлажденного мяса и мясных полуфабрикатов.

Объекты и методы исследования

При подготовке статьи для выделения перспективных направлений дальнейшего развития упаковки переработанной мясной продукции были изучены научные публикации и патенты зарубежных и российских авторов. В качестве методологии подготовки обзора использовалось критическое обобщение статистико-экономических сведений по производству мяса и полуфабрикатов в Российской Федерации, научных основ применения разных способов упаковывания мяса, результатов исследовательских работ, посвященных проблеме сохранения потребительских свойств и безопасности упакованного мяса (с учетом их практической значимости и научной новизны).

Результаты и их обсуждение

Оценка ситуации на отечественном рынке мясной продукции и роль упаковки в его дальнейшем развитии. За последние пять лет производство мяса в Российской Федерации усиленно набирало темпы роста. В итоге, по сравнению с 2013 годом, в 2017 году производство свинины увеличилось на 78,3 % и достигло 2 315,9 тыс. т, мяса птицы – на 32,0 % (4 765,6 тыс. т), баранины – на 19,3 % (6,8 тыс. т) и говядины – на 5,7 % (253,6 тыс. т) [1].

В 2018 году уже за первое полугодие мясная промышленность показала рост (табл. 1) по таким показателям, как производство мяса и субпродуктов, полуфабрикатов, продуктов из мяса и кулинарных изделий. В тоже время продолжал наблюдаться спад объемов производства и потребления колбасных изделий, мясных и мясосодержащих консервов. В общей структуре производства мясной продукции полуфабрикаты вышли на первое место. Для сравнения: в 1990 году объемы их производства были почти в 2 раза меньше объемов производства колбасных изделий [2].

Как видно из таблицы 1, на фоне роста объемов производства и потребления мяса и субпродуктов также активно развиваются такие сегменты рынка, как готовые продукты из мяса и кулинарные изделия. Это вполне объяснимо стремительными темпами жизни современного человека, не желающего тратить свое свободное время на приготовление пищи в домашних условиях.

Тем не менее, из опыта зарубежных стран-участников международного рынка мяса видно, что высокий уровень производства мяса неизбежно приводит к росту доли потребления мяса в переработанном виде, а также к дальнейшему снижению объемов производства переработанной мясной продукции [1]. Очевидно, что усиление конкуренции в сегменте охлажденного мяса и полуфабрикатов будет сопровождаться возрастанием требований торговых сетей к качеству упаковки и срокам годности данного вида продукции.

Упаковка имеет исключительное значение для безопасности и качества мяса, т.к. оно представляет собой наиболее проблемный продукт питания. Во-первых, мясо является благоприятной средой для микрофлоры. В нем присутствуют все питательные вещества – белки, жиры, витамины, микроэлементы, которые необходимы для развития подавляющего числа микроорганизмов.

Во-вторых, в мясе содержится значительное количество воды и, напротив, в незначительном количестве – молочная кислота и хлорид натрия,

Таблица 1. Производство основных видов мясной продукции в натуральном выражении в январе-июне 2017–2018 гг.* (тыс. т, консервы – муб)

Table 1. Production of the main types of meat products in physical terms in January–June, 2017–2018* (thousand tons; canned food is given in millions of standard cans)

Показатели	Январь–июнь		Изменение, %
	2017 г.	2018 г.	
Мясо и субпродукты (всего), тыс. т	3 704,37	4 019,24	108,5
Мясо и субпродукты пищевые убойных животных, в том числе:	1 382,20	1 585,79	114,7
– говядина и телятина, тыс. т	116,10	132,28	113,9
– свинина, тыс. т	1 090,90	1 255,00	115,0
– баранина, тыс. т	3,02	4,08	135,1
– субпродукты пищевые убойных животных, тыс. т	165,96	189,80	114,4
Мясо и субпродукты пищевые домашней птицы, в том числе:	2 322,17	2 433,45	104,8
– субпродукты птицы пищевые, тыс. т	253,31	259,93	102,6
Изделия колбасные, тыс. т	1 110,91	1 091,77	98,3
Продукты из мяса и мяса птицы, тыс. т	37,98	66,76	175,8
Полуфабрикаты мясные и мясосодержащие, тыс. т	1 516,79	1 571,37	103,6
Изделия кулинарные мясные и мясосодержащие, тыс. т	58,83	69,88	118,8
Консервы мясные и мясосодержащие, муб	290,90	285,44	98,1
Консервы мясорастительные, муб	28,98	29,81	102,9

* объёмы производства, направленные на реализацию

обладающие бактериостатической способностью. Следовательно, значения таких барьерных факторов, как показатель pH и активность воды, находятся на очень низком уровне и не в состоянии предотвратить и/или затормозить спонтанно развивающиеся процессы микробиологической порчи [3, 4].

Кроме этого, при хранении мяса развиваются ферментативные (в том числе под действием собственных ферментных систем) и окислительные процессы, которые достаточно быстро приводят к целому ряду желательных и нежелательных изменений органолептических характеристик мяса – внешнего вида, цвета на поверхности и внутри куска, запаха и консистенции. Вместе с ними меняется вкус, аромат и консистенция продукта после кулинарной обработки [4, 5].

Ухудшение органолептических показателей упакованного мяса неизбежно приводит к экономическим потерям по причине отказа

потребителей от покупки. В связи с этим упаковка должна, прежде всего, тормозить и/или предотвращать нежелательные изменения и способствовать желательным изменениям мяса и полуфабрикатов [5, 6].

Упаковка способна противостоять проникновению микроорганизмов в поверхностные, а затем и в глубокие слои мяса, задерживать развитие порчи, позволять ферментативным процессам улучшать нежность мяса, приводить к снижению потерь массы в результате высыхания и отделения сока, обеспечивать ярко-красный цвет мяса в розничной торговле за счет образования оксигемоглобина [5].

В наши дни значение упаковочных решений для мяса и полуфабрикатов трудно переоценить, так как сроки годности этой продукции за счет применения полимерной упаковки выросли с 12 часов до 45 суток и более [3]. Тем не менее, развитие полимерной упаковки для мясной продукции активно продолжается.

Основные виды упаковочных решений на основе полимерных материалов. В настоящее время в мясной промышленности благодаря развитию индустрии полимеров широко применяются такие упаковочные материалы, как полиэтилен низкой и высокой плотности, полипропилен, полиамид, полиэтилентерефталат, поливинилхлорид, поливинилиденхлорид, полистирол и этилен/винилацетат. Каждый вид материала имеет свои преимущества и недостатки, в том числе в плане маркетинга и потребительских предпочтений, экологических и стоимостных показателей [5]. Для обеспечения безопасности и сохранения потребительских свойств мяса огромное значение имеют такие характеристики упаковочного материала, как газо- и паропроницаемость, а также механическая прочность. По отдельности полимеры, как правило, не обладают всеми нужными свойствами, поэтому сегодня большинство упаковочных пленок для мяса имеют многослойную структуру [5, 7].

Все полимерные материалы в определенной степени проницаемы для газов. Однако большинство применяемых в промышленности упаковочных решений основаны на барьерных свойствах пленки, так как от них во многом зависят сроки годности упакованного мяса. В свою очередь проницаемость материала зависит от множества факторов – от состава и количества слоев полимеров, от их толщины, от температуры и относительной влажности среды, от загрязнения жиром и другими компонентами упакованного продукта. Наиболее широко применяемые в мясной промышленности пленки на основе полиамида и полиэтилена имеют, как правило, паропроницаемость – 2–3 г/м²·24 ч и кислородопроницаемость – 25–40 см³/м²·24 ч. Максимально высокую барьерность обеспечивают только ламинаты, которые обладают еще и способностью предотвращать обесцвечивание мяса при температуре 4 °С за счет низкой светопроницаемости [5, 8]. Варьирование количества слоев и их толщины позволило также получить

прочные пленочные материалы для упаковывания отрубов и полуфабрикатов, содержащих кость [9].

Для существенного продления сроков годности охлажденного мяса имеют значение два основных вида упаковочных решений:

– вакуумная упаковка;

– упаковка в модифицированную газовую атмосферу (МГА) [5].

Вакуумная упаковка. Мясо, упакованное под вакуумом, успешно продается более полувека во многих странах мира, в том числе и в России.

Вакуумная упаковка предусматривает использование пленок с низкой паро- и газопроницаемостью. За счет удаления воздуха вакуумная упаковка защищает продукт от абиотической (например, окисление жира, пигментов) и микробиологической порчи, причиной которой являются аэробные бактерии (псевдомонады, дрожжи, плесени и др.). Однако в бескислородной среде хорошо развиваются факультативно анаэробные молочнокислые бактерии. С одной стороны, их присутствие сдерживает рост анаэробных патогенных микроорганизмов, в том числе вызывающих гниение мяса, а с другой стороны, неизбежно приводит к подкислению (закисанию) продукта. Тем не менее, последний процесс идет гораздо медленнее, чем порча неупакованного мяса [3, 5].

Применение вакуумной упаковки стало разносторонним – ее используют для гигиеничности и ускорения технологических процессов обработки мяса (посол, созревание [10], охлаждение, замораживание [4]), для противомикробной обработки (радиационная [11], под высоким давлением [12]), для защиты мяса от внешних воздействий при транспортировании и реализации, для кулинарной обработки (запекание, доведение до готовности в сочетании с пастеризацией, су-вид [13, 14, 15]).

Длительная практика применения вакуумной упаковки для хранения охлажденного мяса наглядно показала, что в наибольшей степени она подходит для говядины. Этот вид мяса лучше сохраняет потребительские свойства при хранении под вакуумом в отличие от баранины и свинины. Во многих исследованиях срок годности говяжьих отрубов составлял 90 суток и превышал сроки годности других видов мяса на 25 % [3]. Говядина, нарезанная на стейки и хранившаяся в вакуумной упаковке в течение 60 суток, после вскрытия способна сохранять свежий вид и стабильный цвет до 72 часов хранения [5].

Вакуумная упаковка защищает мясо не только от проникновения и роста микроорганизмов, но и позволяет эффективно предотвращать потемнение мяса в торговле, по сравнению с мясом, упакованным в проницаемые пленки [5, 16].

В вакуумной упаковке всегда присутствует остаточное количество воздуха, содержащего кислород, который может принимать участие в ферментативных и окислительных процессах (в «дыхании» продукта) и, тем самым вызывать изменение органолептических характеристик.

Наиболее интенсивно потемнение мяса происходит при концентрации кислорода в газовой среде от 0,15 до 2,00 %. Чтобы предотвратить потемнение мяса, остаточный уровень кислорода в упаковке не должен превышать 0,15 % [16].

Вакуумная упаковка прекрасно подходит для крупных кусков мяса, анатомически выделенных с максимальным сохранением целостности мышц, и для охлажденного мяса с нормальным течением автолиза, имеющим значение pH не ниже 5,6 и не выше 6,0. В сочетании с соблюдением правильного выполнения всех операций по обращению с убойными животными и их первичной переработке, с высоким уровнем гигиены и санитарии на производстве, применением низких температурных режимов, вакуумная упаковка способна обеспечивать длительные сроки годности [3].

Вакуумная упаковка позволяет успешно предотвращать рост обычно присутствующих в мясе нежелательных бактерий, вызывающих порчу и пищевые отравления [3, 17]. В связи с этим вакуумная упаковка нашла применение в качестве средства для длительного (от трех недель и более), так называемого «влажного», созревания мяса. По сравнению с «сухим» созреванием неупакованных говяжьих отрубов, этот способ позволяет получить желаемую нежность мяса в 2 раза быстрее и избежать экономических потерь, связанных с высыханием поверхности отрубов [10].

В качестве достижений вакуумной упаковки сегодня можно назвать такие ее разновидности, как упаковывание в термоусадочные пакеты и скин-упаковку.

Термоусадочные пакеты обычно используются для кусков мяса с неровными краями и/или неправильной формы. Этот способ упаковывания за счет применения тепла и сжатия пленки позволяет достичь не только герметичности, но и компактности упакованного продукта.

Одним из последних изобретений в этом направлении стало создание барьерной многослойной термоусадочной пленки на основе полиамида, полиолефинов и EVOH. Этот материал имеет высокие барьерные свойства, хорошую способность к термосвариванию и большой коэффициент усадки (до 30 %) при температуре 75–95 °С [18]. Для того чтобы полимерный материал обладал высокой эксплуатационной стойкостью и сохранял оптическую прозрачность, применяют специальную технологию изготовления – экструзию с сильным раздувом пленки. Материал подвергают растягиванию в продольном и поперечном направлении, придавая равномерность термоусадочных свойств, повышенные механические и барьерные характеристики [19].

Вакуумная скин-упаковка имеет преимущества во внешнем виде при реализации продукта за счет того, что в процессе упаковывания продукт является матрицей для термоформования. Это позволяет пленке точно соответствовать форме продукта и сохранять ее до момента вскрытия упаковки. Скин-упаковка

создает тесный контакт с продуктом независимо от особенностей его поверхности и позволяет обеспечить целостное представление продукта на витрине. Скин-упаковка предусматривает варианты термоформования не только верхней, но верхней и нижней (полужесткой) пленок [5].

Вакуумная скин-упаковка является более эффективной в отношении контроля роста аэробных психротрофных микроорганизмов, чем упаковка в условиях МГА. Однако следует отметить, что стабильность мяса в скин-упаковке, также как и при других упаковочных решениях, зависит от температуры хранения. Чем ниже температура хранения, тем стабильнее результат хранения, в частности, хорошие результаты были получены при хранении баранины в течение 28 суток при температуре минус 0,5 °С [20].

Скин-упаковка позволила решить проблему темно-пурпурного цвета мяса в вакуумной упаковке в результате образование дезоксимиоглобина (потемнение или покоричневение мяса), а также наличия несвойственного мясу запаха, который обычно наблюдается сразу после вскрытия упаковки. Как известно, эти органолептические особенности вакуум-упакованного мяса до сих пор являются причиной отказа потребителей от покупки. В целях нивелирования этого недостатка был разработан инновационный способ системы двойного упаковывания охлажденного мяса. Способ совмещает преимущества вакуумного упаковывания, применения скин-пленки и кислородной атмосферы и позволяет сохранять красный цвет упакованного мяса в процессе хранения. Продукт размещают на подложке и покрывают кислородопроницаемой скин-пленкой. Вторая пленка (барьерная) располагается на расстоянии не менее 0,25 мкм от внутренней скин-пленки. Между пленками создается минимальный свободный объем, содержащий некоторое количество кислорода (95 %), достаточное для того, чтобы препятствовать изменению цвета упакованного мяса в течение его срока годности [21].

Еще одним решением проблемы цвета и запаха является использование вакуумной упаковки в качестве групповой для проницаемых потребительских упаковок, предназначенных для продажи в торговых сетях. Перед продажей такая упаковка снимается, и в присутствии воздуха мясо приобретает привычные для потребителей органолептические характеристики [5].

С 60-х годов прошлого века вакуумная упаковка стала рассматриваться не только как упаковка для сохранности мяса до момента его кулинарной обработки, но и как средство, предназначенное для проведения кулинарной обработки. Один из таких способов приготовления мяса получил название су-вид (от французского *sous-vide* «под вакуумом»). Данная технология получила широкое распространение во Франции и других странах в виду очевидных преимуществ в сфере общественного питания: гигиеничность (продукт вскрывается только перед непосредственным потреблением)

и сохранение высокой пищевой ценности мяса. В этом направлении в России и за рубежом до сих пор проводится много исследований, направленных на изучение влияния различных температурных и временных параметров тепловой обработки на физико-химические, микробиологические, органолептические показатели получаемых мясных продуктов, в том числе в зависимости от исходного качества сырья [15, 22, 23].

Обработка мяса методом су-вид улучшает его нежность в результате размягчения коллагена и снижения адгезии между волокнами. Однако изучение микрофлоры готового продукта (на примере говяжьих стейков) показало, что даже при трехэтапном режиме нагревания (1 этап – при 39 °С в течение 1 часа, 2 этап – 49 °С в течение 1 часа, 3 этап – при 59 °С в течение 4 часов) мясо должно было быть в соответствующем гигиеническом состоянии, так как при такой обработке значимого снижения количества бактерий, по сравнению с сырыми стейками, не происходило [13].

Исследование микрофлоры и сенсорной приемлемости корейского цыпленка, термообработанного методом су-вид при 63 °С в течение 90, 180 и 270 минут, показало, что более длительное время термообработки при такой температуре приводило к значимо более низкому количеству жизнеспособных клеток [14].

Приготовление мяса вызывает ряд последовательных физико-химических изменений белков, глубина которых сильно зависит от условий тепловой обработки, особенно, от температуры и продолжительности. К таким изменениям относят денатурацию и агрегацию белковых молекул, усадку соединительнотканых волокон и солюбилизацию коллагена, накопление продуктов реакции Майяра и окисление белков, дальнейшие взаимодействия (перегруппировка Амадони) свободных аминок групп белков с продуктами окисления жиров (альдегидов) и белков (аминов). Приготовление пищи методом су-вид позволяет в значительной мере сохранить пищевое качество белков. Исследование окислительных модификаций белков свинины при различных режимах обработки методом су-вид – при 58 °С в течение 72 мин; при 80, 98 и 160 °С в течение 72 мин; при 118 °С в течение 8 мин (автоклавирование) – показало возрастание содержания маркеров окисления белка с увеличением температуры и времени приготовления свинины. При этом различные мясные белки имели разную степень окислительного повреждения [24].

В качестве разновидности технологии су-вид, можно рассматривать розничную продажу мяса в вакуумных пакетах, предназначенных для запекания в домашних условиях.

Таким образом, вакуумная упаковка прочно вошла в мясную промышленность, предлагая разнообразный выбор способов упаковывания. Однако следует заметить, что в нашей стране максимальный предел ее возможностей еще не достигнут, и вследствие существующего уровня гигиены на предприятиях

предельные сроки годности для говядины составляют лишь 45 суток, для свинины – не более 21 суток [3].

Упаковка в условиях модифицированной газовой атмосферы (МГА). Впервые модифицированные газовые среды начали использовать около 90 лет назад для транспортирования продукции на длительные расстояния. Лишь с конца 70-х годов прошлого века упаковка МГА нашла свое применение в сетях розничной торговли.

При использовании МГА из упаковки удаляют воздух и заполняют газом или смесью газов. Для упаковывания мяса наиболее часто используют газовую среду, состоящую из кислорода (O_2), углекислого газа (CO_2) и азота (N_2). Состав газовой смеси, наличие или отсутствие кислорода в упаковке зависит от вида продукта [3, 4, 25].

Кислород взаимодействует с миоглобином и обеспечивает ярко-красный цвет мышечной ткани мяса, а двуокись углерода применяется из-за ее бактериостатического и фунгицидного действия, которое впервые было доказано нашим соотечественником профессором Я. Я. Никитским [3].

Упаковка в условиях МГА, также как и вакуумная, нуждается в применении барьерных материалов с низкой паро- и газопроницаемостью. В упаковках с высокой газопроницаемостью во время хранения может происходить повышенный газообмен. Вследствие более низкого парциального давления газов окружающего воздуха, в котором концентрация кислорода составляет около 21 %, а двуокиси углерода – около 0,03 %, газы из защитной атмосферы стремятся диффундировать наружу. Количество азота в воздухе 78 %, поэтому перепад его парциального давления имеет обратный знак, и азот стремится диффундировать из воздуха внутрь упаковки. В таких условиях заранее запрограммирован неконтролируемый газообмен с окружающей средой, если нет уверенности в достаточной герметичности упаковки [26].

Для реализации упаковки в МГА существует два типа упаковочных машин. В установках первого типа происходит последовательное создание вакуума (удаление воздуха), заполнение газом (газовой смесью) и запечатывание упаковочных пакетов, лотков или полужесткой тары, состоящей из термоформованных полимерных подложек. В установках второго типа сразу происходит вдувание газа (газовой смеси) и запечатывание рукавной пленки [27].

Хранению мясной продукции в условиях МГА посвящено много научных работ, которые свидетельствуют о том, что для мяса наибольший практический интерес представляют газовые смеси с высоким содержанием кислорода. В отношении эффективности подавления патогенных микроорганизмов в мясе, упакованном в МГА с большой концентрацией кислорода, проведено множество научных исследований. Показано, что такой способ упаковывания требует пристального внимания к контролю микробиологических

показателей мяса и к соблюдению температуры его хранения [3, 28, 29].

Отмечено, что эффективным сдерживающим фактором в развитии микроорганизмов при использовании высококислородной среды является введение в нее двуокиси углерода (CO_2), способной оказывать бактериостатический эффект в отношении роста аэробных бактерий и плесеней. Причем, чем ниже температура хранения упакованного мяса, тем выше уровень растворимости углекислого газа в мышечной ткани и, соответственно, выше его анти-микробная активность. Изучение влияния разных концентраций CO_2 (МГА 1–50 % и МГА 2–30 %) при упаковывании фарша из свинины продемонстрировало значительное уменьшение роста бактерий *Salmonella spp.* в первые 6 суток хранения, особенно в МГА с более высоким содержанием CO_2 (рисунок 1). Сокращению количества сальмонелл способствовало специфическое действие углекислого газа на цитоплазму клетки (подкисление на внутриклеточном уровне), снижение клеточного метаболизма и замедление скорости микробного роста [30].

Работы в направлении определения оптимального соотношения кислорода и углекислого газа для упаковывания разных видов и анатомических частей мяса при различных температурах хранения активно продолжаются [31, 32, 33].

Вместе с этим ведется поиск решений по оптимизации (как правило, уменьшению) объема свободного пространства внутри упаковки и по сокращению количества газовой смеси. Так, например, при хранении говяжьих стейков, упакованных в МГА с O_2 (70 %, 55 %, 40 %), CO_2 (30 %) и N_2 в традиционную упаковку (с обычным свободным пространством) и меньшим свободным пространством (60 % от традиционной), было показано, что при максимальной концентрации кислорода в обычной упаковке образцы обесцвечивались довольно быстро.

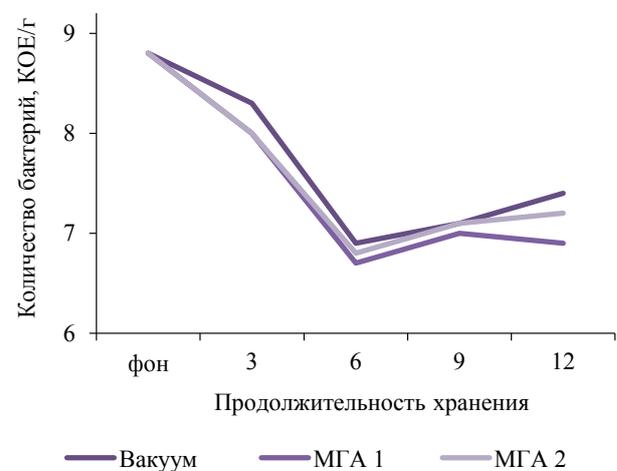


Рисунок 1. Изменение количества бактерий *Salmonella spp.* в фарше в процессе хранения при температуре 3 °С, (согласно результатам, изложенным [30])

Figure 1. The change in the number of *Salmonella spp.* bacteria in ground meat during storage at 3 °C, (according to [30])

Сокращение свободного пространства в упаковках с концентрацией O_2 , равной 70 % и 55 %, оказалось более эффективным для сохранения качества мяса в течение 14 дней, чем обычная упаковка с теми же концентрациями O_2 [34].

Стабильность цвета охлажденной говядины, упакованной в условиях МГА, как и в случае с неупакованным мясом, зависит от величины рН. Одним из преимуществ МГА с высоким содержанием кислорода (80 % O_2) является возможность сохранить стабильную ярко-красную окраску говяжьих стейков на протяжении 10 дней даже при использовании говядины со значениями рН выше 6,2. Причем к концу срока хранения было зафиксировано возрастание интенсивности цвета мышечной ткани [35].

Некоторые исследователи обращают внимание на нежелательные изменения мяса в период его хранения в условиях МГА при разном содержании O_2 в упаковке (0 %, 20 %, 50 % и 80 %). При температуре хранения 4 °С в течение 7 дней в свиных стейках исследовали окисление липидов, белков, гистологические изменения и потери сока. Было показано, что увеличение концентрации кислорода провоцировало более высокие потери сока, способствовало более интенсивному накоплению вторичных продуктов распада жиров и карбонильных соединений, а также сокращению размеров саркомеров мышечных волокон [36]. Окисление посоленного мяса в МГА с высоким содержанием кислорода идет еще более интенсивно, чем несоленого мяса. В то же время посол позволяет улучшить влагоудерживающую способность мясных полуфабрикатов и обеспечить их сочность в готовом виде [37].

На примере баранины, хранившейся в МГА, было показано, что высокое содержание кислорода в упаковке может приводить к нежелательному образованию высокомолекулярных белковых комплексов вследствие окисления и агрегации (полимеризации) белков. В свою очередь, эти преобразования негативно отражались на нежности мяса [25].

Бескислородные газовые среды хоть и позволяют исключить проблему окисления жиров и белков, но применяются редко в виду того, что они фиксируют состояние миоглобина в мясе и не приводят к улучшению его цветовых характеристик. Такие среды обычно используют для переработанной продукции или для мяса птицы, не имеющего в своем составе значительного количества миоглобина [38].

В последние годы большое количество зарубежных исследований было посвящено применению монооксида углерода (CO , угарный газ) в качестве альтернативы МГА с высоким содержанием кислорода и для более эффективного подавления микроорганизмов при упаковывании мяса. Было установлено, что присутствие CO в упаковке (0.4 % CO , 30 % CO_2 , 69.6 % N_2) способствует улучшению цвета говядины. Такое улучшение аналогично улучшению цвета мяса с кислородсодержащей МГА (80 % O_2 , 20 % CO_2). Было отмечено, что максимальные значения красноты (a^*) в упаковках,

содержащих CO , наблюдались к 20 суткам хранения, тогда как в кислородсодержащей среде – к 8 суткам, затем показатель красноты снижился [39].

Также были получены хорошие результаты по цветовым характеристикам мяса (перед упаковкой его в вакуум) при использовании предварительной выдержки говяжьих стейков в течение 5 ч в МГА, содержащей 5 % CO , 60 % CO_2 и 35 % N_2 . Такая обработка дала значимый эффект по улучшению цвета мяса при последующем его хранении под вакуумом в течение 28 дней и не повлияла отрицательно на микробиологическую безопасность говяжьих стейков [40]. Однако следует отметить, что в настоящее время монооксид углерода не имеет статуса газа, официально разрешенного для использования при упаковывании и хранении продукции.

Таким образом, упаковка в условиях МГА, хоть и является технически более сложной, однако в сегменте упакованного мяса и полуфабрикатов она прочно заняла свое место, обеспечивая сроки годности 20–28 суток. Критичным фактором для МГА, как и для вакуумной упаковки, является температура хранения мяса. Для обеспечения стабильного цвета она должна быть не выше 2 °С [3].

Активные исследования ученых в отношении применения вакуума и МГА при упаковывании мяса и полуфабрикатов позволяют получать всю необходимую информацию в помощь предприятиям мясной промышленности при выборе способов сохранения продукции без потери качества. Безусловно, решение о применении того или иного способа упаковывания устанавливается не только из соображений получения максимально длительных сроков годности. Решающее значение также имеет идея представления продукта потребителю, способная стимулировать его на принятие решения о покупке. Так, вакуумная технология не подходит для упаковывания рубленых и формованных полуфабрикатов, например фарша или котлет, поскольку продукт теряет презентабельный внешний вид из-за деформации структуры. При вакуумном упаковывании мяса и кусковых полуфабрикатов существует повышенная вероятность отделения влаги, отрицательно влияющая на выбор потребителя. Эти и другие причины побуждают производителей широко применять наряду с вакуумной технологией упаковку в МГА. В целом, каждый из перечисленных способов в сочетании с высокой гигиеной производства имеет широкие возможности и при правильном выборе прекрасно служит в достижении конкретно поставленной цели производителя.

Перспективы развития упаковки на основе двух основных видов упаковочных решений. Полимерная упаковка еще не показала максимальных результатов по сокращению потерь и увеличению сроков годности, которые она могла бы достичь в сочетании с технологиями, обеспечивающими высокий санитарно-гигиенический уровень мяса перед упаковкой, и с возможностями, которые может дать строгое соблюдение непрерывной холодильной цепи.

Тем не менее, разработки, направленные на развитие самих упаковочных решений, не стоят на месте и сегодня можно выделить новые перспективные направления в этой области, а именно:

– получение новых пленочных материалов с антимикробными и антиокислительными свойствами;

– введение в упаковку новых элементов, обеспечивающих ей дополнительные функции по контролю различных параметров, связанных с обеспечением прослеживаемости, безопасности и качества упакованного продукта.

Эти два направления получили названия «активная» и «умная» («интеллектуальная») упаковка и довольно быстро находят свое применение в пищевой промышленности.

Активная упаковка. Основной прорыв делается в направлении создания пленок с антимикробными и антиокислительными свойствами. Одновременно ведутся исследования в области контроля выделения и поглощения влаги, высвобождения ароматов, использования поглотителей и выделителей газов, которые могут быть встроены непосредственно в пленку или помещены в упаковку в виде саше (пакетиков). В состав полимерных пленок успешно вводятся различные вещества, обеспечивающие антимикробный и/или антиокислительный эффект. Пленочные материалы позволяют обеспечить контролируемую доставку активных веществ в продукт и, тем самым, увеличить его срок хранения. Соответственно, эти вещества должны быть разрешены для использования при производстве пищевых продуктов [41, 42].

В качестве наиболее эффективных способов получения антимикробных пленок в научнотехнической литературе рассматривается использование наночастиц серебра (Ag-NP), которые успешно показали в испытаниях на различных видах полимерных пленок и упакованных продуктов (в том числе, на мясе), проявив антимикробные, противогрибковые и даже противовирусные свойства. Применение Ag-NP в пищевых продуктах уже регулируется законодательством ЕС и США по гигиеническим нормативам миграции Ag⁺ в упакованную продукцию. Пленки с наночастицами серебра в исследованиях на мясе птицы и свинине показали высокую эффективность в отношении контроля роста *Salmonella spp*, *L. monocytogenes*, *E. coli*, *S.aureus*, *Pseudomonas spp*. Отмечено, что применение таких пленок позволяет контролировать спонтанное развитие нежелательной микрофлоры в случаях порчи адсорбирующих салфеток [43].

В некоторых случаях использование физических (разогрев в микроволновой печи) или иных воздействий на пленку может привести к увеличению миграции активных веществ в продукт [43].

Пленочные материалы, активно поражающие микроорганизмы, уже не фантазия ученых, а существующая реальность. Российскими учеными создана технология полимеров на базе полиэтиленimina, активно действующего против

грамположительных и грамотрицательных бактерий. В нашей стране пока такие разработки востребованы, главным образом, в медицине. В качестве активных веществ в них выступают бактерицидные компоненты типа мирамистина или хлоргексидина. Однако вскоре подобные материалы могут найти более широкое применение [44].

В последние годы зарубежные ученые, работая над повышением механической прочности полимерных упаковочных материалов, обнаружили, что она может быть улучшена за счет включения углеродных нанотрубок. Одновременно оказалось, что они проявляют антимикробные свойства. Углеродные нанотрубки приводили к повреждению клеток *E. coli* путем прокалывания клеточных мембран, что вызывало гибель микробных клеток [42].

В зарубежных исследованиях последних лет уделяется большое внимание созданию полимерных пленок с антиокислительными свойствами. В качестве антиокислителей были использованы и хорошо себя показали вводимые в состав пленок эфирные масла и экстракты пряно-ароматических растений (розмарин, орегано, корица и др.), экстракты черного и зеленого чая, полифенолы чая, лимонная кислота, эвгенол и пр. [41, 45].

Упаковочный материал с антиокислительными свойствами был разработан и применен для свежего свиного фарша. Материал состоял из многослойной полиэтиленовой пленки, в которой был иммобилизован экстракт из оливковых листьев в концентрации от 2 % до 15 %. Упакованный фарш хранили при температуре 4 °С в течение 16 дней. Использование активной пленки позволило стабилизировать цвет, снизить накопление продуктов окислительной порчи жиров и продлить срок хранения фарша на 2 дня [46].

Одним из достижений российских ученых в области активной упаковки стала разработка многослойного материала с введением в полимер «активного комплекса», обладающего антимикробным, антиокислительным и стабилизирующим действием. Антимикробная добавка (АМД) представляет смесь органических кислот и солей, а также дигидрохверцетина (ДКВ), который известен отличными антиокислительными свойствами. При таком соотношении (АМД + ДКВ) наблюдается повышение антимикробной активности по отношению ко многим микроорганизмам. Применение многослойного материала при упаковке в условиях МГА или под вакуумом существенно повышает безопасность продукта [47].

На предприятиях мясной промышленности в качестве активной упаковки широко применяются специальные салфетки, пропитанные антимикробным составом и размещающиеся в упаковке с МГА. Материал способен адсорбировать выделившийся мясной сок и противостоять развитию микроорганизмов в нем, тем самым повышая устойчивость к микробиологической порчи кусковых полуфабрикатов [4].

Успешность исследований в области создания и применения активной антимикробной и антиокислительной упаковки позволяет предположить, что в ближайшее время такая упаковка будет повсеместно применяться для мяса и полуфабрикатов. Применение в качестве активных веществ пищевых консервантов и антиокислителей позволит, с одной стороны, не вводить их в состав продукта, а, с другой стороны, не следует ожидать, что пленки с их использованием будут способны решить гигиенические проблемы производства.

Умная или Интеллектуальная упаковка. Основная цель умной или интеллектуальной упаковки – повысить доверие потребителей к ее содержимому. Но она, безусловно, интересна для всех участников оборота пищевой продукции. Интеллектуальная упаковка умеет наблюдать и записывать изменения внутренней и внешней среды. Она включает:

- штрих-коды и метки радиочастотной идентификации;
- различные индикаторы, в том числе временных изменений температуры, влажности, целостности или герметичности упаковки, наличия газа, свежести и зрелости продукта, токсинов;
- датчики (биосенсоры, биозонды, датчики кислорода на основе флуоресценции).

Сегодня радиочастотная идентификация уже дает неоспоримые преимущества в области контроля перемещения и отслеживания товара. Использование беспроводной техники для передачи данных между считывателем и радиолокатором представляет значительное преимущество по сравнению с другими прямыми идентификаторами такими, как система штрих-кода. Также уже не являются новшествами технические средства, позволяющие регистрировать и передавать полную информацию о «жизни» продукта, в частности, время и температуру. В широкое применение прочно входят и различные биосенсоры, принцип работы которых основан на использовании реакций полимеризации, ферментативной активности, электропроводности, диффузии или плавления [48].

В целях защиты потребителей от опасных продуктов разработаны колориметрические индикаторы микробиологической порчи. Они основаны на том, что микрофлора, вызывающая порчу, развивается с выделением углекислого газа, а специальные индикаторы, расположенные в полимерной матрице на этикетке, определяют присутствие или изменение концентрации CO_2 в упаковке. При повышении концентрации CO_2 колориметрические индикаторы меняют цвет, сигнализируя об изменении потребительских свойств продукта [49].

В Японии разработана инновационная маркировка («Label Fresh»), которая позволяет контролировать срок годности мясных продуктов с помощью изменения ее цвета. Этикетка содержит специальные чернила, которые реагируют на аммиак, выделяемый мясом в результате распада белков (чем больше срок годности, тем менее свежее мясо и тем больше аммиака выделяется из него).

Нижняя часть этикетки меняет свой цвет с белого до темно-синего, сигнализируя покупателю о свежести продукта. Когда истекает срок годности мяса, чернила настолько сильно закрашивают штрих-код, что полностью блокируют возможность пробить недоброкачественный товар на кассе [50].

В Канаде разработали особую наклейку, которая поможет определить свежесть покупаемого мяса. В эту наклейку вживлен индикатор, который реагирует на микробы особым свечением [51].

Умная упаковка может быть оснащена системой подогревания или охлаждения. В режиме подогревания нагрев происходит в результате экзотермической реакции с участием оксида кальция или магния. Основным недостатком такой системы подогревания является то, что основная часть пространства для упаковки занята нагревательным устройством. Самоохлаждающаяся упаковка, испаряя внешние компоненты, например, воду, и, затем, абсорбируя их на поверхности, отводит тепло из упаковки [42].

В ближайшем будущем за счет применения нанотехнологий ожидается широкое применение наносенсоров в упаковках для идентификации химических веществ, бактерий, вирусов, аллергенов, патогенов и токсинов в продуктах питания. В настоящее время уже разработаны сенсоры для обнаружения *E. coli* 0157: H7, *Salmonella* spp., *Listeria monocytogenes*, *Bacillus cereus*, энтеротоксинов и белков-аллергенов. Ведутся разработки биосенсоров (ДНК-биочипов), способных различать запахи и вкус [46].

В будущем ожидается разработка полимерных материалов, чувствительных к стимулам. Предполагается, что такие материалы будут иметь функции, способные адекватно оценивать внешнюю и внутреннюю среду упаковки и регулировать качество продукта высвобождением определенных молекул в ответ на внешние раздражители. Для обеспечения биологической и/или химической функции будут разработаны молекулярные наноструктуры, позволяющие выпускать активные вещества только тогда, когда этого требует сама система. Эти наноструктуры будут адаптированы на изменение химического состава, величины pH, температуры и других параметров. Другими словами, упаковка сама сможет не только определять окончание срока годности продукта, но и управлять им [46].

Выводы

Идея умной или интеллектуальной упаковки родилась в результате сбоев и проблем, регулярно возникающих в обороте пищевой продукции, в особенности, охлажденной, скоропортящейся и транспортируемой на большие расстояния.

Сегодня можно с уверенностью утверждать, что технологи имеют разнообразный выбор упаковочных материалов и систем, позволяющих обеспечить эффективный выбор конкретных упаковочных решений. Но лишь забота о выборе упаковки, к сожалению, не позволяет достичь значительных сроков годности скоропортящихся продуктов. Среди

них мясо является, очевидно, наиболее проблемным.

Для повышения безопасности и качества мяса, а также для удобства торговли, наряду с традиционной упаковкой под вакуумом и в условиях МГА, будет широко использоваться активная и интеллектуальная упаковка, которая предлагает новые большие возможности. Вместе с тем, следует учитывать, что активная и интеллектуальная упаковка требует решения многих вопросов ее безопасности, связанных с оценкой возможной миграции активных веществ в продукт. Эта проблема, в свою очередь, будет тесным образом связана с потребностью общества в разработке новых аналитических методов исследования. Кроме этого, наличие активной или умной упаковки не должно подменять традиционные методы производственного контроля, приемосдаточных испытаний, оценки безопасности и качества пищевой продукции.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Благодарности

Авторы выражают глубокую признательность кандидату экономических наук Небурчиловой Нине Федоровне за помощь при подготовке статистико-экономических данных, приведенных в данной статье.

Финансирование

Сбор и анализ материалов, а также подготовка статьи к публикации осуществлялись в рамках выполнения плана научно-исследовательских работ Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова» РАН.

Список литературы

1. Тенденции развития мясной отрасли АПК РФ / А. Б. Лисицын, Н. А. Горбунова, Н. Ф. Небурчилова [и др.] // Все о мясе. – 2016. – № 1. – С. 3–9.
2. Небурчилова, Н. Ф. Состояние рынка мяса и мясных продуктов в I полугодии 2018 года / Н. Ф. Небурчилова, Д. Н. Осянин, И. В. Петрунина // Рынок мяса и мясных продуктов. – 2018. – № 7. – С. 2–17.
3. Костенко, Ю. Г. Руководство по санитарно-гигиеническим основам и предупреждению рисков при производстве и хранении мясной продукции / Ю. Г. Костенко. – М.: Техносфера, 2015. – 640 с.
4. Стрингер, М. Охлажденные и замороженные продукты / М. Стрингер, К. Деннис : пер. с англ. под науч. ред. Н. А. Уваровой. – СПб.: Профессия, 2004. – 496 с.
5. Šćetar, M. Trends in meat and meat products packaging – a review / M. Šćetar, M. Kurek, K. Galić // Croatian Journal of Food Science and Technology. – 2010. – Vol. 2, № 1. – P. 32–48.
6. Ревуцкая Н. М. Упаковка полуфабрикатов: ключевые факторы, определяющие стабильность качества / Н. М. Ревуцкая, В. В. Насонова, Е. В. Милеенкова // Все о мясе. – 2018. – № 3. – С. 20–23. DOI: <https://doi.org/10.21323/2071-2499-2018-3-20-23>.
7. Влияние структуры многослойной пленки на барьерные свойства полимерного пленочного материала / А. И. Загидуллин, Р. М. Гарипов, А. И. Хасанов [и др.] // Вестник Казанского технологического университета. – 2014. – Т. 17, № 21. – С. 151–153.
8. Коулз, Р. Упаковка пищевых продуктов / Р. Коулз, Д. МакДауэлл, М. Дж. Кирван: пер. с англ. под науч. ред. Л. Г. Махотиной. – СПб.: Профессия, 2008. – 416 с.
9. Пат. 2275032 Российская Федерация, А 22 С 13/00. Пленка, используемая в качестве упаковки и оболочки для мяса или мяса с костями, и пакет, изготовленный из нее / Грунд Х., Ланг Х., Шауер Х.; заявитель и патентообладатель Натурин ГмбХ энд Ко. – № 2003125652/13; заявл. 01.02.2001; опубл. 27.04.2006, Бюл. № 12. – 7 с.
10. Формирование качества говядины в процессе длительного созревания / А. Б. Лисицын, А. А. Семенова, И. В. Козырев [и др.] // Все о мясе. – 2017. – № 5. – С. 5–10.
11. Komolprasert V. Packaging food for radiation processing / V. Komolprasert // Radiation Physics and Chemistry. – 2016. – Vol. 129. – P. 35–38. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2016.07.023>.
12. Bolumar, T. Antioxidant active packaging for chicken meat processed by high pressure treatment / T. Bolumar, M. L. Andersen, V. Orlien // Food Chemistry. – 2011. – Vol. 129. – P. 1406–1412. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.05.082>.
13. Effects on beef microflora of a three-step sous-vide method / H. Wang, M. Badoni, S. Zawadski [et al.] // 63 International Congress of Meat Science and Technology. – Cork, Ireland, 2017. – 484 p.
14. Sensory acceptance of chuncheon dakgalbi processed by sous-vide method and its quality changes during storage / H. Jeong, K. H. Baek, D. T. Utama [et al.] // 63 International Congress of Meat Science and Technology. – Cork, Ireland, 2017.
15. Фофанова, Т. С. Технология су-вид некоторые аспекты качества и микробиологической безопасности / Т. С. Фофанова // Теория и практика переработки мяса. – 2018. – Т. 3, № 1. – С. 59–68. DOI: <https://doi.org/10.21323/2414-438X-2018-3-1-59-68>.
16. Mancini, R. A. Current research in meat color / R. A. Mancini, M. C. Hunt // Meat Science. – 2005. – Vol. 71, № 1. – P. 100–121. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2005.03.003>.
17. Effect of microbial contamination conditions of slaughtering and splitting process on microbial diversity of chilled vacuum-packaged beef during storage / R. Liang, L. Zhu, Y. Mao, [et al.] // 62 International Congress of Meat Science and Technology. – Bangkok, Thailand, 2016.

18. Пат. 2619787 Российская Федерация, В65D71/08, В65D65/38, В32В27/34, В32В27/36, В32В27/30. Многослойная термоусадочная пленка / Итон Т., Сэкия Ю., Тобита Х.; патентообладатель Куреха корпорейшн. – № 2015145546; заявл. 28.04.2014; опубл. 18.05.2017, Бюл. №13. – 24 с.
19. Пат. 2134276 Российская Федерация, С08J5/18, В32В27/08, В32В7/12. Двухосно вытянутая ориентированная термоусаживающаяся многослойная пленка / Висик С. Д.; заявитель и патентообладатель Вискейз Корпорейшн. – № 95105791/04; заявл. 08.04.1994; опубл. 10.08.1999. – 26 с.
20. Effect of temperature and packaging conditions on microbial growth in lamb / M. Bellés, V. Alonso, A. Andreu [et al.] // 61 International Congress of Meat Science and Technology. – Clermont-Ferrand, France, 2015.
21. Пат. 2397120 Российская Федерация, В65В7/16, В65В25/06, В65В31/02, В65В9/04. Способ упаковывания свежих мясных продуктов, полученная этим способом упаковка для свежих мясных продуктов и пригодная для нее двойная упаковочная пленка / Роведа К., Капитани С.; патентообладатель Крайовак, Инк. – № 2007134569/11; заявл. 08.02.2006; опубл. 20.08.2010, Бюл. №23. – 18 с.
22. Soncu, E. D. Microbiological, physicochemical and sensorial characteristics of sous-vide “doner” / E. D. Soncu, G. Haskaraca, N. Kolsarici // 63 International Congress Of Meat Science and Technology. – Cork, Ireland, 2017.
23. Чернуха, И. М. Влияние LT-LT тепловой обработки на технологические характеристики и потребительские свойства вареных продуктов из NOR- и PSE-свинины / И. М. Чернуха, О. А. Ковалева, М. В. Радченко // Известия ВУЗов. Пищевая технология. – 2015. – Т. 344–345, № 2–3. – С. 30–33.
24. Pork proteins oxidative modifications under the influence of varied time-temperature thermal treatments: A chemical and redox proteomics assessment / B. Mitra, R. Lametsch, T. Akcan [et al.] // Meat Science. – 2018. – Vol. 140. – P. 134–144. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.03.011>.
25. Kim, Y. H. B. High-oxygen modified atmosphere packaging induced protein polymerization of myosin heavy chain and decreased tenderness of ovine *M. longissimus* during retail display / Y. H. B. Kim, S. Bødker, K. Rosenvold // 57 International Congress of Meat Science and Technology. – Ghent-Belgium, 2011.
26. Lautenschlager, R. / Modified atmosphere packaging requires significant optimization / R. Lautenschlager, V.-D. Muller // Fleischwirtschaft. – 2006. – № 8. – P. 41–45.
27. Pat. 9955703 United States, В65В7/00, А23В4/16, А23L3/3445, В65В25/06, В65В31/02. Method and system for processing meat products in a modified atmosphere / Johnson J. E., Montes J. L., Adams B. Ch.; assignee JBS USA, LLC. – №14/089,013; filed 25.11.2013; publ. 28.05.2015. – 14 p.
28. The effects of modified atmosphere gas composition on microbiological criteria, color and oxidation values of minced beef meat / O. K. Esmer, R. Irkin, N. Degirmencioglu [et al.] // Meat Science. – 2011. – Vol. 88, № 2. – P. 221–226. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2010.12.021>.
29. The effect of packaging on consumer eating quality of beef / R. J. Polkinghorne, J. Philpott, J. Perovic [et al.] // Meat Science. – 2018. – Vol. 142. – P. 59–64. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.04.002>.
30. Survival of *Salmonella spp.* in minced meat packaged under vacuum and modified atmosphere / J. Djordjević, M. Bošković, M. Starčević [et al.] // Brazilian Journal of Microbiology. – 2018. – Vol. 49, № 3. – P. 607–613. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bjm.2017.09.009>.
31. Łopacka, J. Effect of reduction of oxygen concentration in modified atmosphere packaging on bovine *M. longissimus lumborum* and *M. gluteus medius* quality traits / J. Łopacka, A. Półtorak, A. Wierzbička // Meat Science. – 2017. – Vol. 124. – P. 1–8. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.10.004>.
32. Zouaghi, F. Study of modified atmosphere packaging on the quality of ozonated freeze-dried chicken meat / F. Zouaghi, M. J. Cantalejo // Meat Science. – 2016. – Vol. 119. – P. 123–131. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.04.032>.
33. Evaluation and predictive modeling of shelf life of minced beef stored in high-oxygen modified atmosphere packaging at different temperatures / S. Limbo, L. Torri, N. Sinelli [et al.] // Meat Science. – 2010. – Vol. 84, № 1. – P. 129–136. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2009.08.035>.
34. Legrand, I. Qualities of beef packaged in high-oxygen modified atmosphere using various gas compositions and heaspaces / I. Legrand, R. Bezault // 62 International Congress of Meat Science and Technology. – Bangkok, Thailand, 2016.
35. Effects of ultimate pH and high-oxygen modified atmosphere package on color stability of *Longissimus lumborum* from Nellore bulls / C. C. S. Ribeiro, C. J. Contreras-Castillo, A. C. Venturini [et al.] // 62 International Congress of Meat Science and Technology. – Bangkok, Thailand, 2016.
36. Effects of oxygen concentration in modified atmosphere packaging on water holding capacity of pork steaks / C. Wang, H. Wang, X. Li [et al.] // Meat Science. – 2018. – Vol. 148. – P. 189–197. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.10.001>.
37. Tørngren, M. A. Retail packaging of pre-salted beef patties stored in high or nonoxygen atmosphere // M. A. Tørngren, S. Jongberg // 56 International Congress of Meat Science and Technology. – Jeju, Korea, 2010.
38. Belcher, J. N. Industrial packaging developments for the global meat market / J. N. Belcher // Meat Science. – 2006. – Vol. 74, № 1. – P. 143–148. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2006.04.031>.
39. Carbon monoxide packaging shows the same color improvement for dark-cutting beef as high oxygen packaging / Y. Zhang, L. Qin, Y. Mao [et al.] // 63 International Congress of Meat Science and Technology. – Cork, Ireland, 2017.
40. The effect of carbon monoxide pre-treatments on the color stability of vacuum packaged beef steaks / L. A. Van Rooyen, P. Allen, S. M. Crawley [et al.] // 61 International Congress of Meat Science and Technology. – Clermont-Ferrand, France, 2015.
41. A comprehensive review on the application of active packaging technologies to muscle foods / A. Ishfaq, L. Hong, Z. Long [et al.] // Food Control. – 2017. – Vol. 82. – P. 163–178. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.06.009>.

42. Novel food packaging technologies: Innovations and future prospective / I. Majid, G. Ahmad Nayik, S. Mohammad Dar [et al.] // Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences. – 2018. – Vol. 17, № 4. – P. 454–462. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2016.11.003>.
43. Silver nanoparticles in polymeric matrices for fresh food packaging / M. Carbone, D. T. Donia, G. Sabbatella [et al.] // Journal of King Saud University – Science. – 2016. – Vol. 28, № 4. – P. 273–279. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2016.05.004>.
44. Simple and versatile method for creation of non-leaching antimicrobial surfaces based on cross-linked alkylated polyethyleneimine derivatives / A. V. Nuzhdina, A. S. Morozov, M. N. Kopitsyna [et al.] // Materials Science and Engineering C: – 2017. – Vol. 70. – P. 788–795. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.msec.2016.09.033>.
45. Active packaging films with natural antioxidants to be used in meat industry: A review / R. Domínguez, F. J. Barba, B. Gómez [et al.] // Food Research International. – 2018. – Vol. 113. – P. 93–101. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.06.073>.
46. Antioxidant effect of an innovative active plastic film containing olive leaves extract on fresh pork meat and its evaluation by Raman spectroscopy / M. Moudache, C. Nerin, M. Colon [et al.] // Food Chemistry. – 2017. – Vol. 229. – P. 98–103. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.02.023>.
47. Снежко, А. Г. Инновационные решения для упаковки мясных продуктов / А. Г. Снежко, П. А. Страхова, В. Б. Узденицкий // Мясные технологии. – 2016. – Т. 157, № 1. – С. 42–45.
48. Smart packaging – «умная» упаковка [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.newchemistry.ru/letter.php?n_id=654. – Дата доступа: 18.07.2018.
49. Saliu, F. Carbon dioxide colorimetric indicators for food packaging application: Applicability of anthocyanin and polylysine mixtures / F. Saliu, R. D. Pergola // Sensors and Actuators B: Chemical. – 2018. – Vol. 258. – P. 1117–1124. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.snb.2017.12.007>.
50. В Японии для определения свежести мяса используют этикетки, которые не дают обмануть покупателя [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://beliyspisok.ru/threads/v-japonii-dlja-opredelenija-svezhesti-mjasa-ispolzujut-ehetiketki-kotorye-ne-dajut-obmanut-pokupatelja.1268/>. – Дата доступа: 22.06.2018.
51. Ученые создали специальные наклейки, оповещающие о свежести мяса [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://faktom.ru/23880_uchenye_sozdali_specialnye_naklejki_opoveshhayushhie_o_svezhesti_myasa_wilson2034. – Дата доступа: 22.06.2018.

References

1. Lisitsyn A.B., Gorbunova N.A., Neburchilova N.F., and Petrunina I.V. Trends in development of meat branch of the agro-industrial complex of the Russian Federation. *All about the meat*, 2016, no. 1, pp. 3–9. (In Russ.).
2. Neburchilova N.F., Osjanin D.N., and Petrunina I.V. Sostoyanie rynka myasa i myasnykh produktov v I polugodii 2018 goda [The state of the meat and meat products market in the first half of 2018]. *Rynok myasa i myasnykh produktov* [Market of meat and meat products], 2018, no. 7, pp. 2–17. (In Russ.).
3. Kostenko Yu.G. *Rukovodstvo po sanitarno-gigienicheskim osnovam i preduprezhdeniyu riskov pri proizvodstve i khraneni myasnoy produktsii* [Guidelines for sanitary and hygienic basics and risk prevention in the production and storage of meat products]. Moscow: Technosphere Publ., 2015. 640 p. (In Russ.).
4. Stringer M. and Dennis K. *Chilled Foods: A Comprehensive Guide*. Elsevier, Woodhead Publ., 2000. 480 p. (Russ. ed.: Uvarova N.A. *Okhlazhennyye i zamorozhennyye produkty*. St. Petersburg: Professiya Publ., 2004. 496 p.)
5. Ščetar M., Kurek M., and Galić K. Trends in meat and meat products packaging – a review. *Croatian Journal of Food Science and Technology*, 2010, vol. 2, no. 1, pp. 32–48.
6. Revutskaya N.M., Nasonova V.V., and Mileenkova E.V. Packaging of semi-finished products: key factors determining the stability of quality. *All about the meat*, 2018, no. 3, pp. 20–23. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21323/2071-2499-2018-3-20-23>.
7. Zagidullin A.I., Garipov R.M., Hasanov A.I., and Efremova A.A. Vliyanie struktury mnogosloynnoy plenki na bar'ernyye svoystva polimernogo plenochnogo materiala [The influence of the structure of multilayer film on the barrier properties of polymer film material]. *Herald of Kazan Technological University*, 2014, vol. 17, no. 21, pp. 151–153. (In Russ.).
8. Coles R., McDowell D., and Kirwan M.J. *Food Packaging Technology*. Blackwell Publ., 2003. 346 p. (Russ. ed.: Makhotina L.G. *Upakovka pishchevykh produktov*. St. Petersburg: Professiya Publ., 2008. 416 p.)
9. Grund H., Lang H., and Schauer H. *Plenka, ispol'zuemaya v kachestve upakovki i obolochki dlya myasa ili myasa s kostyami, i paket, izgotovlennyy iz nee* [Film used as a package and cover for meat or meat with bones, and a bag made from it]. Patent RF, no. 2275032, 2006.
10. Lisitsyn A.B., Semenova A.A., Kozyrev I.V., Mittel'shteyn T.M., and Sinichkina A.I. Forming the beef quality during aging. *All about the meat*, 2017, no. 5, pp. 5–10. (In Russ.).
11. Komolprasert V. Packaging food for radiation processing. *Radiation Physics and Chemistry*, 2016, vol. 129, pp. 35–38. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2016.07.023>.
12. Bolumar T., Andersen M.L., Orlie V. Antioxidant active packaging for chicken meat processed by high pressure treatment. *Food Chemistry*, 2011, vol. 129, pp. 1406–1412. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.05.082>.
13. Wang H., Badoni M., Zawadski S., et al. Effects on beef microflora of a three-step sous-vide method. *63 International Congress of Meat Science and Technology*, Cork, Ireland, 2017, pp. 484.
14. Jeong H., Baek K.H., Utama D.T., Kim J.T., and Lee S.K. Sensory acceptance of chuncheon dakgalbi processed by sous-vide method and its quality changes during storage. *63 International Congress of Meat Science and Technology*, Cork, Ireland, 2017.

15. Fofanova T.S. Sous vide technology – several aspects of quality and microbiological safety. *Theory and practice of meat processing*, 2018, vol. 3, no. 1, pp. 59–68. DOI: <https://doi.org/10.21323/2414-438X-2018-3-1-59-68>.
16. Mancini R.A. and Hunt M.C. Current research in meat color. *Meat Science*, 2005, vol. 71, no. 1, pp. 100–121. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2005.03.003>.
17. Liang R., Zhu L., Mao Y., et al. Effect of microbial contamination conditions of slaughtering and splitting process on microbial diversity of chilled vacuum-packaged beef during storage. *62 International Congress of Meat Science and Technology*, Bangkok, Thailand, 2016.
18. Eaton T., Secia U., and Tobita H. *Mnogosloynaya termousadochnaya plenka* [Multi-layer heat-shrink wrap film]. Patent RF, no. 2619787, 2017.
19. Visik S.D. *Dvukhosno vytyanutaya orientirovannaya termousazhivayushchayasya mnogosloynaya plenka* [Biaxially elongated oriented heat-shrink multilayer wrap film]. Patent RF, no. 2134276, 1999.
20. Bellés M., Alonso V., Andreu A., Roncalés P., and Beltrán J.A. Effect of temperature and packaging conditions on microbial growth in lamb. *61 International Congress of Meat Science and Technology*, Clermont-Ferrand, France, 2015.
21. Roveda K. and Kapitani S. *Sposob upakovyvaniya svezhikh myasnykh produktov, poluchennaya etim sposobom upakovka dlya svezhikh myasnykh produktov i prigodnaya dlya neye dvojnaya upakovochnaya plenka* [The method of packing fresh meat products, the packaging for fresh meat products obtained in this way, and double packaging film suitable for it]. Patent RF, no. 2397120, 2010.
22. Soncu E.D., Haskaraca G., and Kolsarici N. Microbiological, physicochemical and sensorial characteristics of sous-vide “doner”. *63 International Congress Of Meat Science and Technology*, Cork, Ireland, 2017.
23. Chernukha I.M., Kovaleva O.A., and Radchenko M.V. Effects of low temperature – long time (LT-LT) treatments on technological and consumer characteristics of cooked ham of NOR and PSE pork. *News institutes of higher Education. Food technology*, 2015, vol. 344–345, no. 2–3, pp. 30–33.
24. Mitra B., Lametsch R., Akcan T., and Ruiz-Carrascal J. Pork proteins oxidative modifications under the influence of varied time-temperature thermal treatments: A chemical and redox proteomics assessment. *Meat Science*, 2018, vol. 140, pp. 134–144. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.03.011>.
25. Kim Y.H.B., Bødker S., and Rosenfold K. High-oxygen modified atmosphere packaging induced protein polymerization of myosin heavy chain and decreased tenderness of ovine *M. longissimus* during retail display. *57 International Congress of Meat Science and Technology*, Ghent-Belgium, 2011.
26. Lautenschlager R. and Muller V.-D. Modified atmosphere packaging requires significant optimization. *Fleischwirtschaft*, 2006, no. 8, pp. 41–45.
27. Johnson J.E., Montes J.L., Adams B.Ch. *Method and system for processing meat products in a modified atmosphere*. Pat. USA, no. 9955703, 2015.
28. Esmer O.K., Irkin R., Degirmencioglu N., and Degirmencioglu A. The effects of modified atmosphere gas composition on microbiological criteria, color and oxidation values of minced beef meat. *Meat Science*, 2011, vol. 88, no. 2, pp. 221–226. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2010.12.021>.
29. Polkinghorne R.J., Philpott J., Perovic J., et al. The effect of packaging on consumer eating quality of beef. *Meat Science*, 2018, vol. 142, pp. 59–64. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.04.002>.
30. Djordjevic J., Boskovic M., Starcevic M., et al. Survival of *Salmonella spp.* in minced meat packaged under vacuum and modified atmosphere. *Brazilian Journal of Microbiology*, 2018, vol. 49, no. 3, pp. 607–613. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bjm.2017.09.009>.
31. Łopacka J., Półtorak A., and Wierzbicka A. Effect of reduction of oxygen concentration in modified atmosphere packaging on bovine *M. longissimus lumborum* and *M. gluteus medius* quality traits. *Meat Science*, 2017, vol. 124, pp. 1–8. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.10.004>.
32. Zouaghi F. and Cantalejo M.J. Study of modified atmosphere packaging on the quality of ozonated freeze-dried chicken meat. *Meat Science*, 2016, vol. 119, pp. 123–131. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.04.032>.
33. Limbo S., Torri L., Sinelli N., Franzetti L., and Casiraghi E. Evaluation and predictive modeling of shelf life of minced beef stored in high-oxygen modified atmosphere packaging at different temperatures. *Meat Science*, 2010, vol. 84, pp. 129–136. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2009.08.035>.
34. Legrand I. and Bezault R. Qualities of beef packaged in high-oxygen modified atmosphere using various gas compositions and headspaces. *62 International Congress of Meat Science and Technology*, Bangkok, Thailand, 2016.
35. Ribeiro C.C.S., Contreras-Castillo C.J., Venturini A.C., et al. Effects of ultimate pH and high-oxygen modified atmosphere package on color stability of *Longissimus lumborum* from Nellore bulls. *62 International Congress of Meat Science and Technology*, Bangkok, Thailand, 2016.
36. Wang C., Wang H., Li X., and Zhang Ch. Effects of oxygen concentration in modified atmosphere packaging on water holding capacity of pork steaks. *Meat Science*, 2018, vol. 148, pp. 189–197. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.10.001>.
37. Tørngren M.A. and Jongberg S. Retail packaging of pre-salted beef patties stored in high or non-oxygen atmosphere. *56 International Congress of Meat Science and Technology*, Jeju, Korea, 2010.
38. Belcher J.N. Industrial packaging developments for the global meat market. *Meat Science*, 2006, vol. 74, no. 1, pp. 143–148. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2006.04.031>.
39. Zhang Y., Qin L., Mao Y., et al. Carbon monoxide packaging shows the same color improvement for dark-cutting beef as high oxygen packaging. *63 International Congress of Meat Science and Technology*, Cork, Ireland, 2017.

40. Van Rooyen L.A., Allen P., Crawley S.M., and O'Connor D.I. The effect of carbon monoxide pre-treatments on the color stability of vacuum packaged beef steaks. *61 International Congress of Meat Science and Technology*, Clermont-Ferrand, France, 2015.
41. Ishfaq A., Hong L., Long Z., et al. A comprehensive review on the application of active packaging technologies to muscle foods. *Food Control*, 2017, vol. 82, pp. 163–178. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.06.009>.
42. Majid I., Nayik G.A., Dar S.M., and Nanda V. Novel food packaging technologies: Innovations and future prospective. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 2018, vol. 17, no. 4, pp. 454–462. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2016.11.003>.
43. Carbone M., Donia D.T., Sabbatella G., and Antiochia R. Silver nanoparticles in polymeric matrices for fresh food packaging. *Journal of King Saud University – Science*, 2016, vol. 28, no. 4, pp. 273–279. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2016.05.004>.
44. Nuzhdina A.V., Morozov A.S., Kopitsyna M.N., et al. Simple and versatile method for creation of non-leaching antimicrobial surfaces based on cross-linked alkylated polyethyleneimine derivatives. *Materials Science and Engineering: C*, 2017, vol. 70, pp. 788–795. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.msec.2016.09.033>.
45. Domínguez R., Barba F.J., Gómez B., et al. Active packaging films with natural antioxidants to be used in meat industry: A review. *Food Research International*, 2018, vol. 113, pp. 93–101. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.06.073>.
46. Moudache M., Nerin C., Colon M., and Zaidi F. Antioxidant effect of an innovative active plastic film containing olive leaves extract on fresh pork meat and its evaluation by Raman spectroscopy. *Food Chemistry*, 2017, vol. 229, pp. 98–103. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.02.023>.
47. Snezhko A.G., Strakhova P.A., and Uzdeniskiy V.B. Innovatsionnye resheniya dlya upakovki myasnykh produktov [Innovative solutions for the packaging of meat products]. *Meat Technology*, 2016, vol. 157, no. 1, pp. 42–45. (In Russ.).
48. *Smart packaging – «umnaya» upakovka* [Smart packaging]. Available at: <http://www.newchemistry.ru/letter.php?nid=654>. (accessed 18 July 2018).
49. Saliu F.R. and Pergola D. Carbon dioxide colorimetric indicators for food packaging application: Applicability of anthocyanin and poly-lysine mixtures. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 2018, vol. 258, pp. 1117–1124. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.snb.2017.12.007>.
50. *V Yaponii dlya opredeleniya svezhesti myasa ispol'zuyut etiketki kotoryye ne dayut obmanut' pokupatelya* [In Japan, labels determine the freshness of meat]. Available at: <https://beliyspisok.ru/threads/v-japonii-dlja-opredelenija-svezhesti-mjasa-ispolzujut-etiketki-kotorye-ne-dajut-obmanut-pokupatelja.1268/>. (accessed 22 June 2018).
51. *Uchenye sozdali spetsial'nyye naklejki, opoveshchayushchie o svezhesti myasa* [Scientists have created special stickers that determine the freshness of meat]. Available at: https://faktom.ru/23880_uchenye_sozdali_specialnye_naklejki_opoveshchayushhie_o_svezhesti_myasa_wilson2034_. (accessed 22 June 2018).

Семенова Анастасия Артуровна

д-р техн. наук, профессор, зам. директора по научной работе, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт мясной промышленности имени В. М. Горбатова», 109316, Россия, г. Москва, ул. Талалихина, 26, тел.: +7 (495) 676-61-61, e-mail: a.semenova@fnpcs.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-4372-6448>

Насонова Виктория Викторовна

канд. техн. наук, руководитель отдела Научно-прикладных и технологических разработок, ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН, 109316, Россия, г. Москва, ул. Талалихина, 26, тел.: +7 (495) 676-65-51, e-mail: v.nasonova@fnpcs.ru
 <https://orcid.org/0000-0001-7625-3838>

Ревуцкая Наталья Михайловна

канд. техн. наук, научный сотрудник отдела Научно-прикладных и технологических разработок, ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН, 109316, Россия, г. Москва, ул. Талалихина, 26, тел.: +7 (495) 676-73-61, e-mail: n.revuckaya@fnpcs.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-8898-9305>

Трифонов Михаил Валерьевич

канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН, 109316, Россия, г. Москва, ул. Талалихина, 26, тел.: +7(495) 676-62-51, e-mail: m.trifonov@fnpcs.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-5316-6819>

Anastasia A. Semenova

Dr.Sci.(Eng.), Professor, Deputy Director for Science, V.M. Gorbatov Research Center for Food Systems of Russian Academy of Sciences, 26, Talalihin Str., Moscow, 109316, Russia, phone: +7 (495) 676-61-61, e-mail: a.semenova@fnpcs.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-4372-6448>

Victoriya V. Nasonova

Cand.Sci.(Eng.), Head of Department of Applied Scientific and Technological Development, V.M. Gorbatov Research Center for Food Systems of Russian Academy of Sciences, 26, Talalihin Str., Moscow, 109316, Russia, phone: +7 (495) 676-65-51, e-mail: v.nasonova@fnpcs.ru
 <https://orcid.org/0000-0001-7625-3838>

Nataliya M. Revutskaya

Cand.Sci.(Eng.), Researcher, Department of Applied Scientific and Technological Development, V.M. Gorbatov Research Center for Food Systems of Russian Academy of Sciences, 26, Talalihin Str., Moscow, 109316, Russia, phone: +7 (495) 676-73-61, e-mail: n.revuckaya@fnpcs.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-8898-9305>

Michael V. Trifonov

Cand.Sci.(Eng.), Leading Researcher, V.M. Gorbatov Research Center for Food Systems of Russian Academy of Sciences, 26, Talalihin Str., Moscow, 109316, Russia, phone: +7 (495) 676-62-51, e-mail: m.trifonov@fnpcs.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-5316-6819>