Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2026-3-45-57 Оригинальная статья/Research article
УДК 634.1:339.33 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Сравнительная эффективность пищевых покрытий для плодоовощной продукции на этапах товародвижения

Людмила Г. Елисеева [1] eliseeva.lg@rea.ru 0000-0003-2715-9989
Анжела Х. Соколова [1] d17angela@gmail.com 0009-0007-4310-647X
Алена С. Сологубова [1] sologubova_alena@mail.ru 0009-0007-5079-9649
Ксения В. Сухарева [1] sukhareva.kv@rea.ru 0000-0002-0282-7015
Петр И. Токарев [1] tokarev.pi@rea.ru 0009-0003-2380-4220
Никита. О. Раков [4] nikitarakovv@yandex.ru 0009-0000-2001-6868

1 Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова, Стремянный переулок, 36, Москва, 115054 Россия

Аннотация. Яблоки относятся к скоропортящимся климактерическим плодам с высокой постуборочной физиологической активностью, вследствие чего послеуборочные потери в России достигают 35 %, а для сорта Голден Делишес при нарушении температурных режимов — 40 %. Одним из перспективных направлений снижения потерь является нанесение пищевых полимерных покрытий, формирующих на поверхности плода барьерный слой, который регулирует влаго- и газообмен и ингибирует дыхательный метаболизм. Целью работы являлся сравнительный анализ функционально-технологической эффективности пищевых покрытий на основе хитозана, карбоксиметилцеллюлозы (КМЦ) и поливинилового спирта (ПВС) при поверхностной обработке яблок сорта Голден Делишес. Исследовано семь составов покрытий, включающих глицерин в качестве пластификатора и сорбиновую кислоту либо препарат йода в качестве антимикробных агентов. Обработку проводили погружением плодов в раствор на 60 с; хранение осуществляли при +4 °С (относительная влажность 85–90 %) и +20 °С (45–50 %). Эффективность оценивали по эмиссии этилена, интенсивности дыхания, времени наступления климактерического пика, твёрдости мякоти, содержанию растворимых сухих веществ, аскорбиновой кислоты, суммарной антиоксидантной активности, естественной убыли и потерям от микробиологической порчи. Установлено, что все исследуемые покрытия снижают эмиссию этилена и интенсивность дыхания и смещают климактерический пик на более поздний период. Наибольшую эффективность показали составы на основе хитозана и КМЦ с глицерином и сорбиновой кислотой (21 и 20 баллов по интегральной оценке против 14 баллов у ПВС и 6 баллов у контроля), увеличившие срок хранения с 45 до 80 суток при +4 °С и с 15 до 27 суток при +20 °С. С учётом сопоставимой эффективности и существенно меньшей стоимости обработки для промышленного применения рекомендован состав на основе карбоксиметилцеллюлозы.

Ключевые слова: пищевые пленкообразующие покрытия, хитозан, карбоксиметилцеллюлоза, поливиниловый спирт, физиологическая активность, пищевая ценность, хранение, потери.

Comparative effectiveness of food coatings for fruit and vegetable products at the stages of commodity distribution

Ludmila G. Eliseeva [1] eliseeva.lg@rea.ru 0000-0003-2715-9989
Anzhela K. Sokolova [1] d17angela@gmail.com 0009-0007-4310-647X
Alena S. Sologubova [1] sologubova_alena@mail.ru 0009-0007-5079-9649
Ksenia V. Sukhareva [1] sukhareva.kv@rea.ru 0000-0002-0282-7015
Petr I. Tokarev [1] tokarev.pi@rea.ru 0009-0003-2380-4220
Nikita O. Rakov [4] nikitarakovv@yandex.ru 0009-0000-2001-6868

1 Plekhanov Russian university of economics, Stremyanny lane, 36, 115054, Moscow Russia

Abstract. Apples are perishable climacteric fruits with high postharvest physiological activity, as a result of which postharvest losses in Russia reach 35 %, and for the Golden Delicious cultivar, under deviations from the required temperature regimes, up to 40 %. One of the promising approaches to reducing these losses is the application of edible polymer coatings, which form a barrier layer on the fruit surface that regulates moisture and gas exchange and inhibits respiratory metabolism. The aim of the study was a comparative analysis of the functional and technological effectiveness of edible coatings based on chitosan, carboxymethyl cellulose (CMC) and polyvinyl alcohol (PVA) applied to the surface of Golden Delicious apples. Seven coating formulations were examined, containing glycerol as a plasticiser and either sorbic acid or an iodine preparation as antimicrobial agents. The fruits were treated by immersion in the solution for 60 s and stored at +4 °C (relative humidity 85–90 %) and at +20 °C (45–50 %). Effectiveness was assessed by ethylene emission, respiration intensity, time to the climacteric peak, flesh firmness, soluble solids content, ascorbic acid content, total antioxidant activity, natural weight loss and losses due to microbiological spoilage. All coatings studied were found to reduce ethylene emission and respiration intensity and to delay the climacteric peak. The highest effectiveness was shown by the formulations based on chitosan and on CMC with glycerol and sorbic acid (21 and 20 points by integral assessment, against 14 points for PVA and 6 points for the control), which extended shelf life from 45 to 80 days at +4 °C and from 15 to 27 days at +20 °C. Given the comparable effectiveness and the substantially lower treatment cost, the carboxymethyl cellulose formulation is recommended for industrial application.

Keywords: food film-forming coatings, chitosan, carboxymethylcellulose, polyvinyl alcohol, physiological activity, nutritional value, storage, losses.

Для цитирования
Елисеева Л.Г., Соколова А.Х., Сологубова А.С., Сухарева К.В., Токарев П.И., Раков Н.О. Сравнительная эффективность пищевых покрытий для плодоовощной продукции на этапах товародвижения // Вестник ВГУИТ. 2026. Т. 88. № 3. С. 45–57. doi:10.20914/2310-1202-2026-3-45-57

For citation
Eliseeva L.G., Sokolova A.K., Sologubova A.S., Sukhareva K.V., Tokarev P.I., Rakov N.O. Comparative effectiveness of food coatings for fruit and vegetable products at the stages of commodity distribution. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2026. vol. 88. no. 3. pp. 45–57. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2026-3-45-57

© 2026, Елисеева Л.Г. и др. / Eliseeva L.G. et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Всемирная организация здравоохранения и Минздрав России акцентируют внимание потребителей на необходимости увеличения объемов потребления фруктов и овощей для обеспечения здорового питания. Для профилактики алиментарных заболеваний рекомендуемая суточная доза потребления должна составлять не менее 400 граммов. Яблоки благодаря высокомусодержанию пектиновых веществ и клетчатки нормализуют микробом человека, снижают уровень содержания холестерина, улучшают перистальтику кишечника, обеспечивают низкий гликемический индекс. Высокое содержание комплекса витаминов, минеральных веществ, антиоксидантов активизируют адаптивный иммунитет организма, предупреждает развитие сахарного диабета, сердечно-сосудистых заболеваний. Богатый состав биофлавоноидов (кверцетин, рутин, антоцианы) и полифенольных веществ в сочетании с витаминами С, группы В и комплексом минеральных веществ обеспечивает уникальную способность плодов предупреждать оксидативный стресс, который может привести к нейродегенеративным заболеваниям, сердечно-сосудистым патологиям, диабету, ожирению и онкологическим заболеваниям [1]. Норма потребления яблок, рекомендованная Минздравом России составляет 50 кг/год на человека [2]. В 2025 г. совокупное потребление яблок составило около 14 кг/чел./год. Правительством России были приняты государственные программы развития сельского хозяйства на перспективу до 2030 года, направленные на импортозамещение и увеличение объемов производства отечественной сельскохозяйственной продукции. Принятые меры позволят увеличить объем отечественного производства яблок до 2,26 млн тонн, обеспечить внутренние потребности и увеличить объем потребления яблок населением России [3].

В условиях импортозамещения для обеспечения продоволь-ственной безопасности требуется не только увеличение объёмов производства яблок, но и осуществление системного планомерного снижения потерь в цепи поставок. Согласно данным ФАО ООН (2021, 2023), в мире средние потери фруктов в цепочке «полепокупатель» также высокие и достигают 30–40%. В России ежегодные послеуборочные потери яблок могут достигать до 35% [4, 5]. В развитых странах основные потери смещаются в сторону розничной торговли и на этап потребления. В странах с недостаточно высоким уровнем логистической инфраструктуры основные потери происходят на послеуборочных этапах товародвижения из-за нарушений режимов холодильной цепи, несовершенства технологий хранения, недостаточной эффективности предреализационной обработки и несовершенства упаковочных решений. Минсельхоз России поставил задачу обеспечить внедрение новых технических решений в цепи поставок плодоовощной продукции, обеспечивающих снижение потерь к 2030 г. [3–5].

Яблоки относятся к скоропортящимся климактерическим плодам, отличающимся высокой послеуборочной физиологической активностью после сбора урожая. Важным элементом в системе обеспечения их качества является целенаправленное управление ключевыми физиологическими процессами в послеуборочный период, к которым относятся интенсивность дыхания, эмиссия этилена, скорость дозревания и старения, а также поддержание естественного иммунитета и резистентности к физиологическим расстройствам и микробиологическим поражениям.

Яблоки относятся к растительным объектам, чувствительным к температурному режиму хранения. Большое внимание в международной практике логистики уделяется формированию базы данных, в которой аккумулирована информация из официальных источников, характеризующая чувствительность плодов к температурным условиям хранения, влиянию скорости охлаждения и нарушению температурных режимов на качество и сроки хранения яблок [6]. Возрастает значимость современных технологий послеуборочной обработки яблок, направленных на защиту растительных объектов от негативного влияния внешних факторов. Такие покрытия выполняют функцию барьерного слоя, позволяющего регулировать влаго- и газообмен, ингибировать интенсивность дыхательного метаболизма и эмиссию этилена, а также повышать устойчивость плодов к биотическим и абиотическим стрессам, что особенно важно при несовершенной инфраструктуре холодильной цепи [6].

Применение пищевых полимерных покрытий (edible coatings) для сохранения качества плодов и овощей активно развивается в мировой практике с 1990-х годов и сегодня является одним из устойчивых ключевых направлений послеуборочных технологий. За рубежом такие покрытия уже внедрены в коммерческий оборот.

В странах с развитым садоводством (США, Нидерланды, Испания, Новая Зеландия, Чили) съедобные покрытия на основе полисахаридов, белков и липидов применяются для яблок, цитрусовых, винограда и киви [7, 8]. В российской практике применение съедобных покрытий находится на стадии научных разработок и пилотных испытаний. Полученные результаты демонстрируют высокий потенциал и подтверждают перспективность данной технологии для масштабирования в производственных условиях. В ФГБНУ «ВНИИССОК» (Краснодар) разработаны покрытия на основе хитозана и альгината натрия для яблок сортов «Антоновка», «Гренни Смит», «Фуджи». Результаты исследований продемонстрировали эффективность их применения для снижения естественной убыли, скорости дозревания и увеличения сроков хранения. Аналогичные работы ведутся в ведущих аграрных университетах России. Основное внимание уделяется разработке оптимальных базовых составов пленок, формирующих свойства матрицы покрытия, осуществляется скрининг активных ингредиентов целевого назначения для управления функционально технологическими параметрами плодов на разных этапах в цепи поставок [9–12].

Происходит накопительный этап исследований, который является обязательным при разработке новых научных направлений в послеуборочной биотехнологии. Он позволяет перейти от лабораторных экспериментов к обоснованным промышленным решениям. Актуальными остаются работы, направленные на оптимизацию составов «съедобных» покрытий для плодов по совокупности функциональных и экономических характеристик. Важным аспектом является разработка технологий с учетом доступности и стоимости сырья, технологии нанесения, устойчивости покрытий при хранении и окупаемости в условиях реальных производственных цепочек. Особое внимание отечественные и зарубежные исследователи уделяют изучению перспектив использования в качестве полимерной матрицы для пищевых покрытий препаратов на основе хитозана, пектиновых веществ, альгинатов, соединений липидной и белковой природы, полисахаридов. Для обработки яблок наиболее часто исследуются биополимерные покрытия на основе препаратов хитозана, пектина, производных полисахаридов, поливинилового спирта, альгината, белков (казеинат, соевый белок) и глицеридов. [7, 8, 11, 12].

Анализ результатов предварительных наших исследований, а также данных отечественных и зарубежных ученых позволил установить наиболее эффективные и перспективные базовые компоненты для формирования матрицы пленочных покрытий для яблок. Наиболее выраженную результативность продемонстрировали пищевые покрытия на основе хитозана, карбоксиметилцеллюлозы и поливинилового спирта. Покрытия на основе данных препаратов позволяют получать пленки, обладающие функционально-технологической эффективностью, визуальной нейтральностью, не вызывающие негативное восприятие у потребителей. Пленки характеризуются тактильной совместимостью при прикосновении, отличаются органолептической инертностью – не видны на поверхности плода, не влияют на цвет, вкус и аромат яблок, легко смываются при мойке плодов в домашних условиях.

Цель работы – проведение сравнительного анализа функционально-технологической эффективности пищевых покрытий на основе хитозана, карбоксиметилцеллюлозы (КМЦ) и поливинилового спирта (ПВС) при поверхностной обработке яблок сорта Golden Delicious.

В качестве объекта исследования выбран сорт яблок «Голден Делишес» (*Golden Delicious*) – универсальный позднезимний сорт, пользующийся высоким спросом на внутреннем и внешнем рынках. Согласно данным ФАО (2021), *Golden Delicious* относится к категории сортов с повышенным риском послеуборочных потерь из-за низкой термостабильности, высокой восприимчивости к фитопатогенам и слабой механической устойчивости. В мировой практике уровень потерь при хранении и реализации яблок сорта Голден Делишес достигает 30%, а в условиях нестабильной логистики может увеличиваться до 40% [5, 6]. В России в зависимости от соблюдения климатических режимов и технологии товародвижения суммарные потери при хранении в течение 6–8 месяцев составляют: при строгом соблюдении норм – 10–12%; при умеренных нарушениях – 15–20%; при критических отклонениях достигают 40% [5, 6]. Обработка плодов проводилась после снятия с длительного хранения. Была отобрана партия плодов, полностью соответствующая требованиям ГОСТ 34314–2017, однородная по степени зрелости, без механических, физиологических и микробиологических повреждений, средняя масса плода – 150 г.

В качестве маркеров, характеризующих барьерные свойства исследуемых пленочных препаратов были использованы следующие показатели: индикаторы скорости дозревания – эмиссия этилена, интенсивность дыхания, время наступления климактерического пика дыхания; показатели, характеризующие скорость протекания окислительно-восстановительных и гидролитических процессов – снижение твёрдости плодов, массовая доля растворимых сухих веществ, аскорбиновой кислоты, суммарной антиоксидантной активности; показатели лежкоспособности – естественная убыль, сроки годности, потери от микробиологических повреждений. Анализ комплекса данных критериев определял интегральный показатель эффективности исследуемых покрытий.

Материалы и методы

В качестве основы матрицы пищевых пленочных покрытий были использованы три типа базовых полимерных соединений:

– 1% раствор хитозана (молекулярная масса 350–400 кДа, степень деацетилирования – 80–85%) – это натуральный катионный линейный полисахарид, состоящий из 2-амино-2-дезокси-β-D-глюкозы, которая образуется в результате деацетилирования хитина ракообразных и грибов. В России хитозан разрешён к использованию в качестве компонента съедобных покрытий и биологически активного вещества (госрегистрация БАД «Хитозан» RU.77.99.11.003.R.003461.11.23). Хитозан способен образовывать полимерное покрытие с селективной газопроницаемостью, обладает выраженными антимикробными свойствами [9].

– 0,4% раствор карбоксиметилцеллюлозы (КМЦ), модифицированного полисахарида, эфира целлюлозы – пищевая добавка Е466, анионное линейное длинноцепочечное производное целлюлозы с высокой молекулярной массой, проявляет выраженные загущающие, стабилизирующие и пленкообразующие свойства. Покрытия на основе КМЦ нетоксичны, неаллергенны, биоразлагаемы, не имеют запаха и вкуса, устойчивы к маслам и жирам, растворимы в воде и ограничено проницаемы для влаги, кислорода и углекислого газа [10].

– 1,5% раствор поливинилового спирта (ПВС), пищевая добавка Е1203, представляет собой синтетический термопластичный полимер. Отличается стабильностью структуры, высокой механической прочностью пленки и контролируемой проницаемостью для газов и влаги, обладают хорошей биосовместимостью при контакте с пищевыми продуктами.

Для предупреждения потери эластичности плёнки при нанесении на поверхность, ее растрескивания, нарушение целостности, и отслоение от поверхности плодов в состав композиционной полимерной матрицы вводили пластификатор – глицерин.

Учитывая, что хитозан обладает выраженной антимикробной активностью в отношении грамположительных и грамотрицательных бактерий, грибов и дрожжей, его использовали в качестве монокопонентного полиактивного пленочного покрытия. КМЦ и ПВС не обладают самостоятельными асептическими свойствами, но являются эффективным матрицами для создания композитных антимикробных покрытий. На их основе были созданы комплексных системы путем иммобилизации полимеров антимикробными агентами, обеспечивающими синергический эффект с матрицей. В качестве антимикробных агентов были использованы положительно зарекомендовавшие себя, часто используемые в практике хранения плодов, разрешенные для пищевых целей, сорбиновая кислота и препарат йода (препарат йода в смеси с йодидом калия, 1:3). В качестве пластификатора использован 1,5% раствор глицерина.

Об эффективности влияния исследуемых пищевых покрытий на снижение скорости дозревания при хранении плодов судили по динамике выделения этилена, определяемого с помощью газоанализатора F-900; интенсивности дыхания, о которой судили по количеству углекислого газа, выделенного 1 кг продукта за 1 ч. Твердость мякоти плодов определяли с помощью пенетрометра Fruit Hardness Nester GY-3 с использованием плунжера с диаметром 8 мм (измерение проводили в 3 точках, расположенных по диаметру плода под углом 120). Содержание растворимых сухих веществ в плодах определяли в гомогенизированной массе с помощью цифрового рефрактометра Atago-Palette PR 101, Atago Co. Ltd. со шкалой от 0 до 32° Брикса при температуре 20 °С. Суммарное содержание антиоксидантов определяли с использованием кулонометра «Эксперт–006 – антиоксиданты». Суммарное содержание антиоксидантов выражали в 100 г образца в пересчете на стандартный препарат рутина. Определение аскорбиновой кислоты проводилось по ГОСТ 24556–89, с использованием титриметрического метода (раствором 2,6-дихлорфе-

нолиндофенола). Определение органолеп-тических показателей проводили методом экспертной оценки с использованием балльных шкал, путем изучения динамики согласованного ораналептического профиля по показателям запах, вкус, флейвор и текстура.

Все исследования проводили не менее чем в 3-кратной повторности. Статистическую обработку результатов проводили при помощи программного обеспечения Microsoft Excel 2016.

Результаты и обсуждение

О влиянии исследуемых видов покрытий на снижение физиологической активности, обуславливающей скорость дозревания и старения плодов, судили по динамике эмиссии этилена и скорости дыхания яблок. Физиологические процессы дозревания и старения климактерических плодов определяются многофункциональной ролью этилена в климактерическом периоде созревания и активностью дыхания, как источника для синтеза энергетического потенциала клетки [13]. Процессы дыхания и эмиссии этилена у климактерических плодов взаимосвязаны, это определяется взаимо регулированием данных процессов, которые определяют метаболизм дозревания и старения плодов. Скорость этих процессов оказывает прямое воздействие на сроки хранения и величину потерь. Газообразный этилен синтезируется в мясистом околоплоднике. Рецепторы, которые находятся на поверхности экзокарпия плода взаимодействуют с этиленом и активизируют цепь биохимических реакций. Биосинтез этилена в плодах регулируется комплексом ферментов 1-аминоциклопропан-1-карбоксилатсинтазой и оксидазой 1-аминоциклопропан-1-карбоновой кислоты. Которые преобразуют S-аденозил-L-метионин, производную аминокислоты метионина в 1-аминоциклопропан-1-карбоновую кислоту (промежуточный продукт биосинтеза этилена) которая под действием АЦК-оксидазы превращается в этилен, аммиак, муравьиную кислоту и углекислый газ [14]. Установлено, что данные реакции управляются на разных этапах дозревания экспрессией комплекса генов Md-ACS и Md-ACO. Под действием фитогормона этилена активизируются процессы дозревания, сопровождающиеся изменениями цвета, твердости, аромата, степени гидролиза крахмала [15–18].

Этилен также действует как сигнальная молекула, которая активизирует экспрессию генов, активизирующих активность ферментов метаболизма сахаров, биосинтеза летучих ароматических веществ (эфиров, альдегидов, спиртов) и активацию генов, ответственных за распад полисахаридов клеточных стенок (полигалактуроназы, целлюлазы), что приводит к размягчению плодов и последующей мацерации тканей. Максимальная эмиссия этилена происходит в фазе климактерического максимума процесса дыхания. В этой связи динамика эмиссии этилена и интенсивность дыхания могут использоваться в качестве индикаторов степени зрелости плодов, позволяющих оценивать потенциальный остаточный срок хранения плодов [13].

Для снижения физиологической активности и скорости дозревания было проведено сравнительное изучение результативности использования семи составов экспериментальных вариантов полимерных пищевых покрытий для яблок, которые служили физическим барьером и модифицировали влаго- и газообмен плодов с окружающей средой. Варианты исследований, имели следующий состав: 1 вариант – монокомпонентный препарат, 1% раствор хитозана; 2–0,4% раствор КМЦ с 1,5% глицерина (КМЦ + Гл); 3–1,5% раствор ПВС с 1,5% глицерина (ПВС + Гл); 4–0,4% раствор КМЦ с 1,5% глицерина и 1,5% сорбиновой кислоты (КМЦ + Гл + Ск); 5–1,5% раствор ПВС с 1,5% глицерина и 0,1% раствора йода и 0,3% йодида калия (ПВС + Гл + I); 6–0,4% раствор КМЦ с 1,5% глицерина и 0,1% раствора йода и 0,3% йодида калия; 7 – 1,5% ПВС с 1,5% глицерина и 1,5% сорбиновой кислоты. Обработка яблок проводилась путем погружения плодов в раствор на 60 секунд и дальнейшего высушивания при температуре +14 °С. В качестве контроля использовали яблоки без покрытия, обработанные дистиллированной водой.

Эффективные концентрации всех компонентов, входящих в состав исследуемых пищевых полимерных покрытий были установлены в предварительно проведенных исследованиях. Покрытые пищевыми пленками и необработанные (контрольные) образцы яблок закладывали на хранение в климатическую камеру при двух режимах. Условия, имитирующие режимы хранения в холодильных камерах при температуре +4 °С (относительная влажность воздуха – 85–90%) и в условиях, приближенных к торговому залу, при температуре +20 °С (относительная влажность 45–50%). Завершение периода хранения устанавливали при достижении доли плодов в исследуемых вариантах, соответствующих категории нестандарта достигающей 10%.

На протяжении всего срока хранения изучали динамику исследуемых маркеров физиологической активности и лежкоспособности.

На рис. 1 представлена динамика выделения эндогенного этилена плодами яблок сорта Голден Делишес, обработанных исследуемыми составами полимерных препаратов и контрольный вариант в процессе хранения при 4 °С.

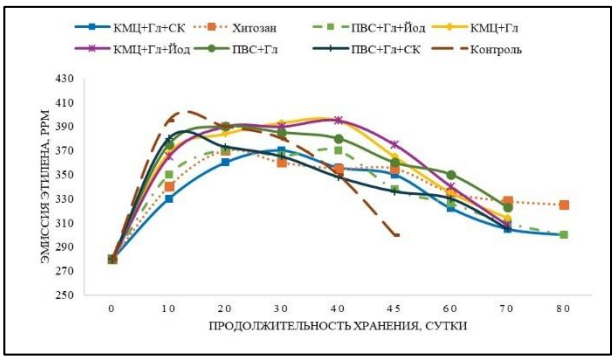


Рисунок 1. Динамика эмиссии этилена яблок, хранившихся при температуре 4 °С

Figure 1. Dynamics of ethylene emission of apples stored at 4 °C

Анализируя полученные данные, было отмечено, что по мере дозревания яблок количество выделяемого этилена постепенно увеличивается и достигает максимального значения на этапе завершения климактерического подъема. Эмиссия этилена плодами при 4 °С в точке максимального подъема климактерической кривой находится в пределах 360–400 ppm/кг/час. Плоды дозревают и приобретают наиболее высокие органолептические свойства. При перезревании плодов синтез этилена снижается, начинается процесс старения, который сопровождается мацерацией мезокарпия. Этот период является наиболее критичным в процессе логистики и реализации. В этой связи большое практическое значение имеет продление периода поддержания потребительских свойств плодов после достижения климактерического пика путем снижения физиологической активности плодов [13].

Обработка плодов всеми видами исследуемых пищевых полимерных покрытий приводила к снижению уровня выделяемого эндогенного этилена. Максимальный уровень снижения эмиссии этилена был отмечен в вариантах с обработкой 1% раствором хитозана (хитозан) и комплексными препаратами, содержащими 0,4% раствор КМЦ с 1,5% глицерина и 1,5% сорбиновой кислоты (КМЦ + Гл + Ск) и ПВС с 1,5% глицерина и 0,1% раствора йода и 0,3% йодида калия (ПВС + Гл + I). Эмиссия этилена в данных вариантах составила соответственно 360; 366; 375 ppm/кг/час. Диапазон различий в значениях эмиссии этилена в данных вариантах существенно не различался и варьировал незначительно в диапазоне 5–15 ppm/кг/час. В контрольном (необработанном) варианте была самая высокая интенсивность выделения этилена и превышала 400 ppm/кг/час. При анализе влияния вида пленочного покрытия на скорость дозревания плодов большое значение имеет время наступления климактерического пика и сроков годности. Максимальное выделение этилена плодами совпадает с этапом климактерического экспоненциального подъема дыхания, характеризующим достижение плодами потребительской зрелости. Повышение концентрации этилена вызывает увеличение проницаемости мембран и облегчает транспорт кислорода в клетку, активизирует окислительные процессы [19, 20].

Пленочные покрытия на поверхности плодов снижают эмиссию этилена и увеличивают продолжительность периода до наступления климактерического пика при хранении. Срок годности необработанных яблок на этапах товародвижения составил 45 суток. Обработка пленочными покрытиями на основе хитозана, КМЦ + Гл + Ск и ПВС + Гл + I позволила снизить эмиссию этилена и увеличить сроки годности до 80; 76 и 75 суток.

Хранение и реализация яблок осуществляется в торговом зале при 20 °С. Увеличение температуры хранения повышает активность метаболических процессов дозревания и приводит к снижению сроков годности плодов. На рисунке 2 представлены данные, характеризующие влияние исследуемых пленочных покрытий на количество синтезируемого плодами этилена в период хранения в условиях торгового зала при 20 °С.

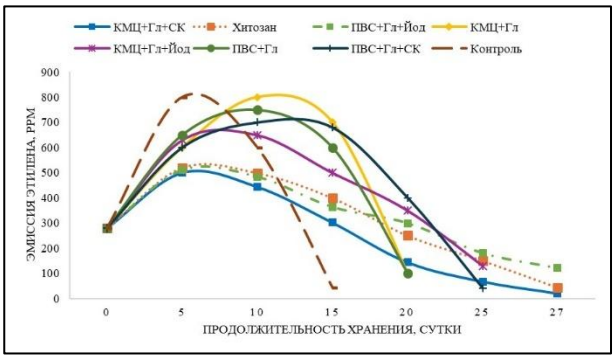


Рисунок 2. Динамика эмиссии этилена яблок, хранившихся при температуре 20 °С

Figure 2. Dynamics of ethylene emission of apples stored at 20 °C

Повышение температуры хранения с 4 до 20 °С привело к увеличению эмиссии этилена в контрольном необработанном варианте с 400 до 800 ppm/кг/час. При обработке пищевыми пленочными покрытиями эмиссия этилена существенно снизилась. Наиболее значимое снижение было при использовании хитозана, КМЦ + Гл + Ск и ПВС + Гл + I. В климактерическом пике у обработанных плодов количество выделяемого этилена снизилось до уровня 500–510 ppm/кг/час, значимых различий для указанных видов покрытий установлено не было. Хранение при повышенных температурах в 2–3 раза сокращает сроки годности плодов. Для контрольного варианта срок годности сократился с 45 до 15 суток. Обработка эффективными составами пленочных покрытиями хитозаном, КМЦ + Гл + Ск и ПВС + Гл + I позволила увеличить срок хранения на 12, 10 и 9 дней соответственно.

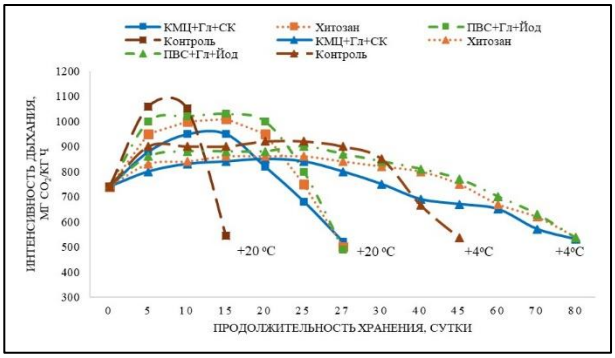


Рисунок 3. Влияние пищевых покрытий и температуры хранения на интенсивность дыхания в яблоках

Figure 3. The influence of edible coatings and temperature on the level of respiration intensity in apples

Основной формой взаимодействия плодов с окружающей средой является процесс дыхания, который тесно связан с внутритканевым газовым составом тканей. Использование пищевых полимерных покрытий позволяет создавать полупроницаемый барьер на поверхности плодов и влияет на газопроницаемость. Эти процессы оказывают непосредственное влияние на интенсивность дыхания. Сравнительная результативность влияния наиболее эффективных пленочных покрытий на интенсивность дыхания плодов в процессе хранения при температуре 4 и 20 °С представлена на рисунке 3. Уровень интенсивности дыхания в плодах со всеми исследуемыми вариантами покрытий был ниже по сравнению контрольным. Наиболее эффективное влияние на снижение интенсивности дыхания, также как и при снижении эмиссии этилена, оказали три варианта пищевых плёночных покрытия на основе хитозана, КМЦ + Гл + СК и ПВС + Гл + I.

Следовательно, пленки на поверхности плодов обладают барьерными свойствами и снижают активность физиологической активности яблок аналогично хранению в модифицированной газовой среде (МГС). Исследуемые покрытия существенно пролонгировали сроки наступления климактерического подъема дыхания в плодах на более поздний период. В контрольном варианте климактерический пик подъема дыхания наступал на 9–10 сутки хранения при 20 °С и 25 сутки при 40 °С. При обработке плёнкообразующими препаратами максимальное значение интенсивности дыхания было установлено на 14–16 27–30 сутки, что говорит о замедлении процессов дозревания. По эффективности действия исследуемых вариантов покрытий, существенных различий влияния на интенсивность дыхания установлено не было.

Твердость плодов является важным показателем, который имеет тесную взаимосвязь с физиологической активностью плодов, оказывает непосредственное влияние на спрос потребителей, характеризует степень зрелости и потенциальную лежкоспособности плодов. Снижение скорости дозревания плодов позволяет более длительный период времени сохранять необходимый уровень твердости. На рис. 4 представлены результаты, характеризующие влияние исследуемых пленочных пищевых покрытий и температуры на твердость и потенциальную лежкоспособность яблок.

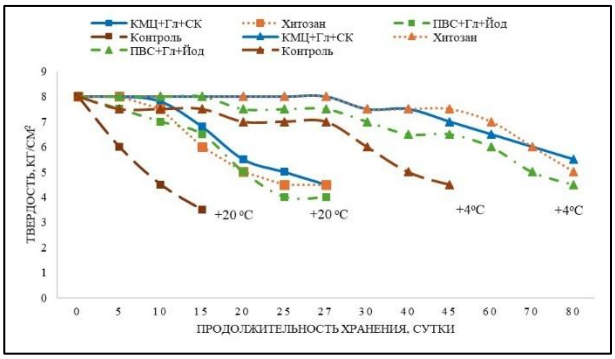


Рисунок 4. Влияние исследуемых пленочных пищевых покрытий и температуры на твердость

Figure 4. The influence of edible coatings and temperature on firmness of apples

Обработка плодов всеми видами пленкообразующих препаратов снижает интенсивность

размягчения тканей. Наиболее длительное сохранение консистенции плодов было установлено при обработке плодов составами, эффективно снижающими активность физиологической активности: Хитозаном, КМЦ + Гл + СК.

Влияние вида пленочного покрытия и температуры хранения на накопление сухих растворимых веществ (СРВ) и массовую долю витамина С, как индикатора сохранения биологической ценности плодов яблок на этапах товародвижения представлено в табл. 1. Температура хранения является определяющим фактором, влияющим на скорость дозревания и сохранение биологической ценности. Использование исследуемых вариантов полимерных пищевых покрытий позволяет нивелировать отрицательное влияние повышенных температур.

Таблица 1.

Влияние вида пленочного покрытия и температуры хранения на накопление сухих растворимых веществ (СРВ) и массовую долю витамина С

Table 1.

The effect of the type of film coating and storage temperature on the accumulation of dry soluble substances (DRBs) and the mass fraction of vitamin C

Вид обработки, режимы (темп.) и сроки хранения (дни) Processing type, conditions (temperature), and shelf life (days)	Массовая доля сухих растворимых веществ, BRIX % Soluble solids, BRIX%			Массовая доля витамина С, мг/100г Vitamin C, mg/100g		
	Исходное Initial	На конец хранения At end of storage	*Изменение, % Change, %*	Исходное Initial	На конец хранения At end of storage	*Изменение, % Change, %*
Контрольный вариант (яблоки без пленочного покрытия) | Control						
4; 45	15,0	19,0	+26,7	12,2	7,2	-41,1
20; 15		20,0	+33,7		6,1	-50,0
Обработка яблок препаратом Хитозан | Treatment of apples with Chitosan						
4; 45	15,0	17,0	+13,3	12,2	9,8	-19,7
20; 15		19,1	+26,7		9,0	-26,8
Обработка яблок составом КМЦ + Гл + СК | Processing apples with a composition of CMC + Gl + SK						
4; 45	15,0	16,8	+12,0	12,2	10,0	-18,0
20; 15		18,9	+26,0		8,9	-27,1
Обработка составом ПВС + Гл + I | Treatment with PVA + Gl + I						
4; 45	15,0	18,0	+20,0	12.2	9,5	-22,1
20; 15		19,5	+30,0		9,0	-26,2

При оценке барьерных свойств исследуемых препаратов пленочных покрытий и ранжировании эффективности влияния исследуемых покрытий на снижение скорости дозревания и сохранение биологически активных соединений (по стабильности витамина С) учитывалось, что снижение прироста СРВ свидетельствует о более низкой скорости гидролиза крахмала, протопектина и клеточных полисахаридов в процессе хранения и указывает на менее интенсивное испарение влаги. Самое низкое увеличение НСВ при холодильном хранении и при температуре +20 °С было при обработке препаратами хитозаном и КМЦ + Гл + СК и составило соответственно +13,3 и 26,7; 12 и 26,0%. В контрольном варианте установлен высокий уровень снижения при обоих режимах хранения – 26,7 и 33,7%.

На скорость снижения содержания аскорбиновой кислоты в процессе хранения значительное влияние оказывают пленкообразующие покрытия [13]. Окисление происходило более интенсивно при снижении активности дыхания в плодах, покрытых пищевыми покрытиями. Более низкие потери аскорбиновой кислоты свидетельствуют о снижении активности окислительно-восстановительных реакций в тканях яблок, в которых она принимает непосредственное участие. Лучшие результаты по стабилизации окислительных и гидролитических процессов (по скорости гидролиза крахмала), по интенсивности дыхания и уровню сохранения витамина С, были установлены у плодов, обработанных препаратом хитозана при обеих температурах хранения. Покрытие плодов составом КМЦ + Гл + СК незначительно превосходило результативность обработки хитозаном и существенно превосходило обработку ПВС + Гл + I. Это может быть объяснено тем, что сорбиновая кислота и ее соли обладают не только доказанным антимикробным эффектом, но способны оказывать ингибирующее воздействие на ряд ферментов класса оксидаз, активно участвующих в регулировании метаболической активности плодов [21, 22].

Антиоксидантный эффект, который оказывают покрытия, замедляет окислительные

процессы, вызывающие деградацию аскорбиновой кислоты.

Антиоксидантная активность – это показатель, используемый для оценки состояния и потенциала окислительного стресса при старении плодов. Плоды с высокой антиоксидантной активностью дольше сохраняют товарный вид, текстуру и вкус. В процессе хранения яблок происходит естественное снижение антиоксидантной активности. Пленкообразующие покрытия создают модифицированную атмосферу и замедляют скорость снижения антиоксидантной активности (рисунок 5) [23, 24].

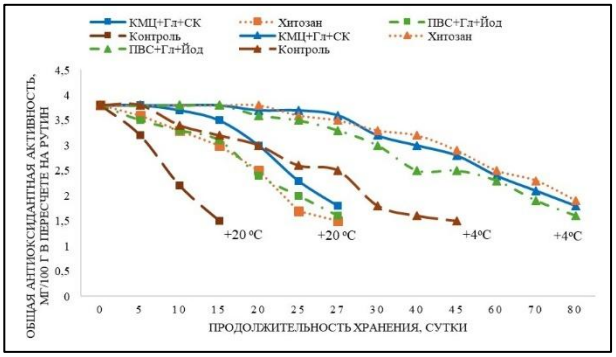


Рисунок 5. Влияние пищевых покрытий и температурного режима на изменение антиоксидантной активности яблок

Figure 5. The influence of edible coatings and temperature on dynamic antioxidant activity of apples

По своей химической природе препарат хитозана обладает антиоксидантными свойствами и поэтому дополнительно усиливает защиту плодов от окислительных процессов, тем самым обеспечивает более высокое остаточное содержание антиоксидантов в яблоках в конце хранения при обоих температурах по сравнению с другими вариантами.

Анализ значений исследуемых маркеров, демонстрирует комплексное положительное влияние пищевых покрытий на снижение активности метаболических процессов, протекающих при хранении плодов, что позволяет увеличить период дозревания плодов и более длительное время сохранять высокий уровень потребительских свойств. На рисунке 6 представлены результаты профилографического анализа потребительских свойств плодов, обработанных исследуемыми пленкообразующими составами в момент снятия с хранения. Профилограмма позволяет провести комплексную сравнительную визуальную оценку значений интенсивности проявления анализируемых признаков: внешний вид, вкус, сладость, кислый вкус, твердость, степень зрелости (перезревания), хруст при разжевывании. Показатели оценивались по разработанным балльным шкалам и выражались в баллах.

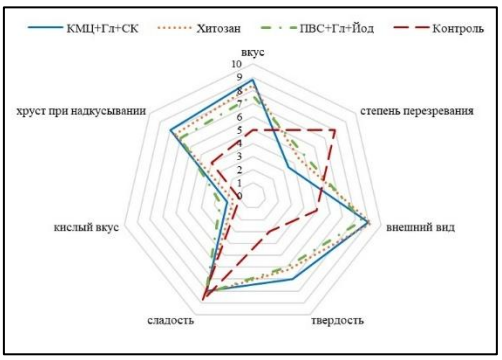


Рисунок 6. Результаты профилографического анализа потребительских свойств плодов, обработанных исследуемыми пленкообразующими составами в момент снятия с хранения

Figure 6. The results of a profilographic analysis of the consumer properties of fruits treated with the film-forming compounds studied at the time of removal from storage

Обработка хитозаном и составом КМЦ + Гл + СК демонстрирует наиболее сбалансированные и высокие показатели по большинству параметров, которые существенно превосходят по потребительским свойствам необработанные плоды.

На основе проведенных исследований в таблице 2 представлены показатели, характеризующие сравнительную интегральную эффективность использования исследуемых пищевых покрытий (хитозана, КМЦ + Гл + СК, ПВС + Гл + I) для снижения скорости дозревания плодов, увеличения сроков годности и снижения потерь. Покрытия позволяют продлить срок хранения яблок на 80% (при комнатной температуре) и на 78% (при холодном хранении). Добавление ингредиентов с бактерицидными свойствами, положительно влияют на снижение потерь от микробиологической порчи. Покрытия обеспечивают высокую суммарную оценку органолеп-тических показателей плодов. Максимальные показатели 4,8 и 4,7 балла установлены в плодах, обработанных хитозаном и КМЦ + Гл + СК соответственно.

Таблица 2.

Показатели, характеризующие сравнительную эффективность использования исследуемых пищевых покрытий

Table 2.

Indicators characterizing the comparative effectiveness of the use of the studied food coatings

Показатели Index	4 °C				20 °C			
	КМЦ + Гл +СК CMC + Gl + SK	Хитозан Chitosan	ПВС + ГЛ +I ПВС + ГЛ +I	Контроль Control	КМЦ + Гл +СК CMC + Gl + SK	Хитозан Chitosan	ПВС + ГЛ +I ПВС + ГЛ +I	Контроль Control
Срок хранения до появления дефектов, сутки Shelf life before defects appear, days	80	80	80	45	27	27	25	15
Убыль массы в конце срока хранения, % Weight loss at end of shelf life, %	2,0	2,0	3,0	8,0	14,0	13,5	15,0	27,0
Потери от микробиологической порчи, % Losses due to microbiological spoilage, %	1,0	0,5	1,0	6,0	3,5	3,0	4,0	12,0
Суммарная оценка органолептических показателей, балл Total organoleptic assessment, points	4,9	4,9	4,7	4,0	4,7	4,8	4,4	3,0

Покрытия на основе хитозана демонстрируют незначительно более высокие асептические свойства, по сравнению с КМЦ + Гл + СК и ПВС + Гл + I. Аналогичная зависимость установлена по уровню убыли массы плодов при хранении. По большинству исследуемых маркеров эффективности, обработка хитозаном незначительно превышает эффективность обработки составом КМЦ + Гл + СК (в среднем на 1–3%). Значительно более существенные различия по эффективности (на 5–10%) этих препаратов установлены по сравнению с обработкой яблок составом ПВС + Гл + I. Стоимость обработки 10 кг яблок исследуемыми препаратами существенно различается, она не коррелирует с комплексной эффективностью покрытий, представленной ранее. Соотношение стоимости обработки составляет – хитозан: ПВС: хитозан: ПВС + Гл + I : КМЦ + Гл + СК = 9,2:2:1. Следовательно сопоставляя эффективность барьерных характеристик исследуемых покрытий и стоимость обработки ими явное предпочтение может быть отдано комплексному препарату на основе карбоксиметилцеллюлозы, глицерина и сорбиновой кислоты.

Заключение

Покрытия с пленкообразующими свойствами создают защитный слой, который регулирует газообмен, снижает активность биохимических процессов в плодах, замедляет дозревание плодов, увеличивает срок годности и снижает потери от микробиологических повреждений. Результативность влияния пленочных покрытий на метаболизм плодов зависит от химической природы матрицы пленочного покрытия и функциональных ингредиентов, входящих в состав покрытия. Проведенные исследования позволили провести анализ сравнительной интегральной эффективности покрытий, в которых в качестве основных компонентов матрицы использовали хитин, карбоксиметилцеллюлозу и поливиниловый спирт. Эффективность барьерных свойств исследуемых пищевых покрытий изучали при двух наиболее распространенных температурных режимах на этапах товародвижения и реализации: +4 и +20 °С. Маркерами, характеризующими комплексное воздействие плёночных покрытий на физиологическую активность плодов яблок в процессе хранения служили: эмиссия этилена, интенсивность дыхания (отражают динамику скорости дозревания, времени наступления климактерического пика); твёрдость тканей, содержание РСВ, аскорбиновой кислоты, естественная убыль (характеризуют барьерные характеристики, снижающие скорость гидролиза сложных углеводов, размягчение тканей при перезревании, интенсивность испарения влаги); уровень потерь от микробиологических повреждений (влияние на резистентность плодов к микробиологическим повреждениям и эффективность асептических препаратов, входящих в состав пленочных покрытий). Была проведена комплексная оценка всех изучаемых

показателей по 4 балльной шкале (лучший результат – 4 балла, самый низкий результат – 1 балл) для каждого вида покрытия и контрольного (необработанного варианта). На основании результатов суммарной балльной оценки по всем указанным показателям проведено итоговое ранжирование эффективности действия исследуемых пищевых пленочных покрытий. Установлено, что обработка препаратами хитозана и смесью на основе карбоксиметилцеллюлозы (КМЦ + Гл + СК) дала близкие результаты: 21 и 20 баллов, смесь на основе поливинилового спирта (ПВС + Гл + I), имела менее выраженные барьерные характеристики (14 баллов) и менее результативно задерживала процессы старения плодов. Оценка контрольного варианта составила 6 баллов. Хитозан превосходит пленку на основе хитозана более значимо снижает активности гидролитических и окислительно-восстановительных процессов, эмиссию этилена, в то время как пленка на основе КМЦ обеспечивает более высокие влагудерживающие свойства. Основываясь на балансе функционально-технологической эффективности и экономической целесообразности для промышленного применения, рекомендуется использование состава на основе карбоксиметилцеллюлозы, имеющего высокую эффективность барьерных характеристик и минимальную стоимость обработки. Эффект барьерных свойств исследуемых пищевых полимерных покрытий наиболее эффективно проявляется при повышении температуры в процессе хранения и при несанкционированных колебаниях температуры и реализации плодов в торговом зале.

Литература

1 Food Loss Index (FILIX) / Food and Agriculture Organization of the United Nations. URL: https://www.fao.org/home/en (дата обращения: 13.01.2026).

2 Об утверждении Рекомендаций по рациональным нормам потребления пищевых продуктов, отвечающим современным требованиям здорового питания: приказ Минздрава России от 19.08.2016 № 614.

3 Eliseeva L.G., Sokolova A.H., Tokarev P.I. et al. State support as a growth factor in agro-industrial horticulture // Economics and Entrepreneurship. 2024. № 6 (167). P. 325–329.

4 Ministry of Agriculture of the Russian Federation. The end of the "State and development of agriculture" 2024. URL: https://mcx.gov.ru (дата обращения: 13.01.2026).

5 Rosstat. Losses of agricultural products during fruit storage. Federal State Statistics Service, 2024.

6 Kuzmenkova O.A., Petrov V.I. Auxiliary tools for working with apples in Russian universities // State Biology. 2019. V. 54. № 3. P. 456–463.

7 Mikus M., Galus S. Food coatings – materials, methods and applications in the food industry // Food Sciences. Technology. Qualification. 2020. V. 125. P. 5–24. doi: 10.1016/j.foodqual.2020.104272

8 Ribeiro I.S., de Souza M.M., da Silva L.S. et al. Sustainable innovations in the production of food films and coatings: an overview // Trends in Food Science and Technology. 2024. V. 143. P. 104272. doi: 10.1016/j.tifs.2023.104272

9 Smirnov A.N., Kozlova L.V., Morozov D.A. Development and evaluation of the effectiveness of edible chitosan-based coatings for storing apples // Bulletin of Michurinsk State Agrarian University. 2021. № 4 (42). P. 112–119.

10 Kharlamova G.G., Nesterova T.A. The use of carboxymethyl cellulose and polyvinyl alcohol in the composition of film-forming coatings for apples // Storage and Processing of Agricultural Raw Materials. 2022. № 7. P. 34–40.

11 Derevitskaya V.N., Kozhemyakina E.M., Popov S.V. Chitosan-based food coatings for post-harvest canning of apples: a comparative study // Journal of Food Science and Technology. 2023. V. 60. № 4. P. 1892–1901. doi: 10.1007/s13197-022-05423-4

12 Semenov A.P., Lebedeva E.A. Nanomaterials in edible coatings for post-harvest fruit processing // Bulletin of KubGAU. 2023. № 103. P. 134–145.

13 Type M.M.H., Sheriff C.M. Ethylene and its effect on hormonal background during fruit ripening: mechanisms, modulation and commercial use // Frontiers in Plant Science. 2024. V. 15. P. 1475496. doi: 10.3389/fpls.2024.1475496

14 Kende H. Biosynthesis of ethylene // Annual Review of Plant Physiology and Molecular Biology of Plants. 1993. V. 44. № 1. P. 283–307. doi: 10.1146/annurev.pp.44.060193.001435

15 Saibel A.S. The effectiveness of the controlled atmosphere and the Phytomag preparation on the ethylene content in apple fruits of various varieties // Chief Agronomist. 2024. № 1.

16 Ji Y., Wang A. Recent achievements in the field of phytohormonal regulation of apple fruit ripening // Plants. 2021. V. 10. P. 2061. doi: 10.3390/plants10102061

17 Dandekar A.M., Teo G., Defilippi B.G. et al. The effect of downregulation of ethylene biosynthesis on the fruit and flavor complex in apple fruits // Transgenic Research. 2004. V. 13. P. 373–384. doi: 10.1023/B:TRAG.0000039445.25948.5c

18 Dulov M.I. Harvesting, storage and processing of apple fruits // Traditions and Innovations in Modern Science and Education: Theory and Best Practice. Petrozavodsk: New Science, 2021. P. 235–252.

19 Panfilova O.F., Pilshchikova N.V. Physiological aspects of ripening and prolongation of the shelf life of juicy fruits // Proceedings of the Timiryazev Agricultural Academy. 2023. № 4. P. 75–94.

20 Wang Y.W., Acharya T.P., Malladi A. et al. Atypical menopausal and functional ethylene metabolism and signaling during fruit ripening in blueberries (Vaccinium sp.) // Frontiers in Plant Science. 2022. V. 13. P. 932642. doi: 10.3389/fpls.2022.932642

21 Asanova A.A. The degree of effect of food preservatives on the activity of enzymes performing various metabolic functions // Youth and Science: Collection of Materials of the VIII All-Russian Scientific and Technical Conference. Krasnoyarsk: Siberian Federal University, 2012.

22 Smashevsky N.D., Ionova L.P. The anti-growth and antimetabolic effects of sorbic acid on wheat and rice seedlings // Modern Problems of Science and Education. 2016. № 4. P. 226.

23 Zhang M., Liu Y., Wang J. Food coatings enriched with essential oils increase the shelf life and antioxidant capacity of Malus domestica Borkh. cv. Golden Delicious // Postharvest Biology and Technology. 2022. V. 183. P. 111743. doi: 10.1016/j.postharvbio.2021.111743

24 Lysyak G.P., Mikhalska-Tsekhanovska A., Wojdilo A. Post-harvest changes in phenolic compounds and antioxidant capacity of apples cv. Jonagold, native to different regions of Europe // Food Chemistry. 2020. V. 310. P. 125912. doi: 10.1016/j.foodchem.2019.125912

References

1 Food Loss Index (FILIX). Food and Agriculture Organization of the United Nations. Available at: https://www.fao.org/home/en (accessed: 13.01.2026).

2 On Approval of Recommendations on Rational Norms of Food Consumption Meeting Modern Requirements of Healthy Nutrition: Order of the Ministry of Health of Russia No. 614 of August 19, 2016. (in Russian).

3 Eliseeva L.G., Sokolova A.H., Tokarev P.I. et al. State support as a growth factor in agro-industrial horticulture. Economics and Entrepreneurship. 2024. no. 6 (167). pp. 325–329. (in Russian).

4 Ministry of Agriculture of the Russian Federation. The end of the "State and development of agriculture" 2024. Available at: https://mcx.gov.ru (accessed: 13.01.2026).

5 Rosstat. Losses of agricultural products during fruit storage. Federal State Statistics Service, 2024.

6 Kuzmenkova O.A., Petrov V.I. Auxiliary tools for working with apples in Russian universities. State Biology. 2019. vol. 54. no. 3. pp. 456–463. (in Russian).

7 Mikus M., Galus S. Food coatings – materials, methods and applications in the food industry. Food Sciences. Technology. Qualification. 2020. vol. 125. pp. 5–24. doi: 10.1016/j.foodqual.2020.104272.

8 Ribeiro I.S., de Souza M.M., da Silva L.S. et al. Sustainable innovations in the production of food films and coatings: an overview. Trends in Food Science and Technology. 2024. vol. 143. article 104272. doi: 10.1016/j.tifs.2023.104272.

9 Smirnov A.N., Kozlova L.V., Morozov D.A. Development and evaluation of the effectiveness of edible chitosan-based coatings for storing apples. Bulletin of Michurinsk State Agrarian University. 2021. no. 4 (42). pp. 112–119. (in Russian).

10 Kharlamova G.G., Nesterova T.A. The use of carboxymethyl cellulose and polyvinyl alcohol in the composition of film-forming coatings for apples. Storage and Processing of Agricultural Raw Materials. 2022. no. 7. pp. 34–40. (in Russian).

11 Derevitskaya V.N., Kozhemyakina E.M., Popov S.V. Chitosan-based food coatings for post-harvest canning of apples: a comparative study. Journal of Food Science and Technology. 2023. vol. 60. no. 4. pp. 1892–1901. doi: 10.1007/s13197-022-05423-4.

12 Semenov A.P., Lebedeva E.A. Nanomaterials in edible coatings for post-harvest fruit processing. Bulletin of KubGAU. 2023. no. 103. pp. 134–145. (in Russian).

13 Type M.M.H., Sheriff C.M. Ethylene and its effect on hormonal background during fruit ripening: mechanisms, modulation and commercial use. Frontiers in Plant Science. 2024. vol. 15. article 1475496. doi: 10.3389/fpls.2024.1475496.

14 Kende H. Biosynthesis of ethylene. Annual Review of Plant Physiology and Molecular Biology of Plants. 1993. vol. 44. no. 1. pp. 283–307. doi: 10.1146/annurev.pp.44.060193.001435.

15 Saibel A.S. The effectiveness of the controlled atmosphere and the Phytomag preparation on the ethylene content in apple fruits of various varieties. Chief Agronomist. 2024. no. 1. (in Russian).

16 Ji Y., Wang A. Recent achievements in the field of phytohormonal regulation of apple fruit ripening. Plants. 2021. vol. 10. article 2061. doi: 10.3390/plants10102061.

17 Dandekar A.M., Teo G., Defilippi B.G. et al. The effect of downregulation of ethylene biosynthesis on the fruit and flavor complex in apple fruits. Transgenic Research. 2004. vol. 13. pp. 373–384. doi: 10.1023/B:TRAG.0000039445.25948.5c.

18 Dulov M.I. Harvesting, storage and processing of apple fruits. In: Traditions and Innovations in Modern Science and Education: Theory and Best Practice. Petrozavodsk: New Science, 2021. pp. 235–252. (in Russian).

19 Panfilova O.F., Pilshchikova N.V. Physiological aspects of ripening and prolongation of the shelf life of juicy fruits. Proceedings of the Timiryazev Agricultural Academy. 2023. no. 4. pp. 75–94. (in Russian).

20 Wang Y.W., Acharya T.P., Malladi A. et al. Atypical menopausal and functional ethylene metabolism and signaling during fruit ripening in blueberries (Vaccinium sp.). Frontiers in Plant Science. 2022. vol. 13. article 932642. doi: 10.3389/fpls.2022.932642.

21 Asanova A.A. The degree of effect of food preservatives on the activity of enzymes performing various metabolic functions. In: Youth and Science: Collection of Materials of the VIII All-Russian Scientific and Technical Conference. Krasnoyarsk: Siberian Federal University, 2012. (in Russian).

22 Smashevsky N.D., Ionova L.P. The anti-growth and antimetabolic effects of sorbic acid on wheat and rice seedlings. Modern Problems of Science and Education. 2016. no. 4. p. 226. (in Russian).

23 Zhang M., Liu Y., Wang J. Food coatings enriched with essential oils increase the shelf life and antioxidant capacity of Malus domestica Borkh. cv. Golden Delicious. Postharvest Biology and Technology. 2022. vol. 183. article 111743. doi: 10.1016/j.postharvbio.2021.111743.

24 Lysyak G.P., Mikhalska-Tsekhanovska A., Wojdilo A. Post-harvest changes in phenolic compounds and antioxidant capacity of apples cv. Jonagold, native to different regions of Europe. Food Chemistry. 2020. vol. 310. article 125912. doi: 10.1016/j.foodchem.2019.125912.

Сведения об авторах

Людмила Г. Елисеева д.т.н., профессор, базовая кафедра индустрии качества, Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова, Стремянный переулок, 36, Москва 115054, Россия, eliseeva.lg@rea.ru
https://orcid.org/0000-0003-2715-9989

Анжела Х. Соколова аспирант, базовая кафедра индустрии качества, Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова, Стремянный переулок, 36, Москва 115054, Россия, d17angela@gmail.com
https://orcid.org/0009-0007-4310-647X

Алена С. Сологубова аспирант, базовая кафедра индустрии качества, Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова, Стремянный переулок, 36, Москва 115054, Россия, sologubova_alena@mail.ru
https://orcid.org/0009-0007-5079-9649

Ксения В. Сухарева к.х.н., доцент, заведующая кафедрой, базовая кафедра индустрии качества, Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова), Стремянный переулок, 36, Москва 115054, Россия, sukhareva.kv@rea.ru
https://orcid.org/0000-0002-0282-7015

Петр И. Токарев д.б.н., профессор, базовая кафедра индустрии качества, Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова, Стремянный переулок, 36, Москва 115054, Россия, tokarev.pi@rea.ru
https://orcid.org/0009-0003-2380-4220

Никита. О. Раков аспирант, базовая кафедра индустрии качества, Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова, Стремянный переулок, 36, Москва 115054, Россия, nikitarakovv@yandex.ru
https://orcid.org/0009-0000-2001-6868

Information about authors

Ludmila G. Eliseeva Doctor of Technical Sciences, Professor, Basic Department of Quality Industry, Plekhanov Russian university of economics, Stremyanyi lane, 36, Moscow, 115054, Russia, eliseeva.lg@rea.ru
https://orcid.org/0000-0003-2715-9989

Anzhela K. Sokolova postgraduate student, Basic Department of Quality Industry, Plekhanov Russian university of economics, Stremyanyi lane, 36, Moscow, 115054, Russia, d17angela@gmail.com
https://orcid.org/0009-0007-4310-647X

Alena S. Sologubova postgraduate student, Basic Department of Quality Industry, Plekhanov Russian university of economics, Stremyanyi lane, 36, Moscow, 115054, Russia, sologubova_alena@mail.ru
https://orcid.org/0009-0007-5079-9649

Ksenia V. Sukhareva Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Basic Department of Quality Industry, Plekhanov Russian university of economics, Stremyanyi lane, 36, Moscow, 115054, Russia, sukhareva.kv@rea.ru
https://orcid.org/0000-0002-0282-7015

Petr I. Tokarev Doctor of Biological Sciences, Professor, Basic Department of Quality Industry, Plekhanov Russian university of economics, Stremyanyi lane, 36, Moscow, 115054, Russia, tokarev.pi@rea.ru
https://orcid.org/0009-0003-2380-4220

Nikita O. Rakov postgraduate student, Basic Department of Quality Industry, Plekhanov Russian university of economics, Stremyanyi lane, 36, Moscow, 115054, Russia, nikitarakovv@yandex.ru
https://orcid.org/0009-0000-2001-6868

Вклад авторов

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

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 07/04/2026 **После редакции** 18/04/2025 **Принята в печать** 20/04/2026

Received 07/04/2026 **Accepted in revised** 18/04/2025 **Accepted** 20/04/2026