

Динамика сохранности свежего перца в условиях, имитирующих холодильную цепь

В.В. Никитин, А.Н. Сучков

Всероссийский научно-исследовательский институт холодильной промышленности – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН, г. Москва, Российская Федерация

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:
Владимир Владиславович Никитин
E-mail: v.nikitin@fncps.ru

для ЦИТИРОВАНИЯ:
Никитин В.В., Сучков А.Н. (2025). Динамика сохранности свежего перца в условиях, имитирующих холодильную цепь. *Хранение и переработка сельхозсырья*, 33(2), 57–75. <https://doi.org/10.36107/spfp.2025.2.640>

ПОСТУПИЛА: 01.11.2024
ПРИНЯТА: 15.06.2025
ОПУБЛИКОВАНА: 30.06.2025

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:
автор сообщает об отсутствии конфликта интересов.

ФИНАНСИРОВАНИЕ:
Статья подготовлена в рамках выполнения исследований по государственному заданию ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН.



АННОТАЦИЯ

Введение: Сохранение качества скоропортящихся овощей, таких как сладкий перец (*Capsicum annuum* L.), на всех этапах холодильной цепи представляет собой актуальную задачу в условиях расширяющейся продовольственной логистики. Несмотря на наличие нормативных требований к температурным режимам хранения, на практике сохраняется высокая доля товарных потерь, обусловленных кратковременными температурными отклонениями, возникающими при транспортировке, выгрузке и реализации продукции. В то время как многочисленные исследования изучают влияние стабильных температурных условий на сохранность овощей, остается недостаточно эмпирических данных о кумулятивном воздействии реальных, последовательных температурных колебаний, характерных для всей логистической цепи: от распределительного центра до прилавка. Особенно недооценен вклад типа упаковки как модератора температурного стресса в этих условиях.

Цель: Экспериментальное выявление критических звеньев холодильной цепи, оказывающих наибольшее влияние на сохранность сладкого перца. Особое внимание уделяется взаимодействию факторов: характера температурного профиля (постоянного/переменного) и типа упаковки (открытая/закрытая).

Материалы и методы: Смоделированы различные режимы, включающие в себя имитацию нахождения продукции на распределительном центре, процесса транспортирования до точки реализации и хранения при реализации. Для двух из режимов была обеспечена постоянная температура на протяжении всего срока хранения, заявленная производителем – от 7 до 9 °С. Для трех режимов смоделированы условия хранения с различными колебаниями температуры, обусловленными реальной цепью поставок: повышение температуры при отгрузке и разгрузке до 11 °С, при транспортировании – до 14 °С, при реализации в магазине – до 24 °С. Продолжительность хранения перца в различных температурных режимах составляла от 4 до 11 суток. Оценку качества перца проводили по утвержденным паспортам качества товаров и нормативной документации.

Результаты: Установлено, что кратковременное повышение температуры во время хранения и транспортирования оказывает существенное влияние на качественные характеристики сладкого перца. Наибольшее снижение показателей качества было зафиксировано у образцов, которые находились в открытой упаковке. Применение упаковочных материалов способствовало незначительному замедлению процесса порчи продукта. Несмотря на это, ни одна из исследованных партий не соответствовала нормативным требованиям по качеству после заявленного производителем срока хранения, что подчеркивает важность обеспечения контроля температурных параметров на всех этапах холодильной цепи, включая транспортирование до распределительного центра и хранения на нем.

Вывод: Исследование показало, что даже непродолжительные температурные отклонения при реальной логистике существенно снижают товарное качество перца, независимо от использования упаковки. Для сохранения пищевой ценности необходим пересмотр существующих логистических протоколов с внедрением систем мониторинга температуры и оптимизацией интервалов хранения.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

сладкий перец; холодильная цепь; сохранность перца; имитация температурных условий; хранение перца; транспортирование перца

Dynamics of Fresh Pepper Preservation Under Conditions Simulating the Cold Chain

All-Russian Scientific Research Institute of Refrigeration Industry – Branch of V. M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of RAS, Moscow, Russian Federation

Vladimir V. Nikitin, Alexander N. Suchkov

CORRESPONDENCE:

Vladimir V. Nikitin

E-mail: v.nikitin@fncps.ru

FOR CITATIONS:

Nikitin V.V., Suchkov A.N. (2025). Dynamics of Fresh Pepper Preservation Under Conditions Simulating the Cold Chain. *Storage and Processing of Farm Products*, 33(2), 57–75. <https://doi.org/10.36107/spfp.2025.2.640>

RECEIVED: 01.11.2024

ACCEPTED: 15.06.2025

PUBLISHED: 31.06.2025

DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.

FUNDING:

This article was prepared within the framework of research carried out under the state assignment of the V.M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems, Russian Academy of Sciences.



ABSTRACT

Introduction: Maintaining the quality of perishable vegetables, such as sweet pepper (*Capsicum annuum* L.), throughout all stages of the cold chain is a pressing challenge in the context of expanding food logistics. Despite the existence of regulatory standards for storage temperature, a significant proportion of postharvest losses persists in practice, primarily due to short-term temperature deviations occurring during transportation, unloading, and retail. While numerous studies have examined the effects of stable temperature conditions on vegetable preservation, empirical data remain limited regarding the cumulative impact of real, sequential temperature fluctuations that occur across the entire supply chain – from distribution center to retail shelf. The moderating role of packaging type under these conditions has been particularly underexplored.

Purpose: To experimentally identify the critical points in the cold chain that exert the most significant influence on the preservation of sweet pepper. Particular attention is given to the interaction between two key factors: the nature of the temperature profile (constant vs. fluctuating) and the type of packaging (open vs. closed).

Materials and Methods: Several storage regimes were simulated to reflect real-life conditions, including product storage at a distribution center, transportation to the retail location, and shelf storage. Two of the regimes maintained a constant temperature (7–9 °C), as recommended by the producer. The remaining three included variable temperatures typical of actual cold-chain conditions: temperature rises to 11 °C during loading and unloading, up to 14 °C during transportation, and up to 24 °C during retail display. The duration of storage under these regimes ranged from 4 to 11 days. Pepper quality was assessed using approved quality passports and relevant regulatory documentation.

Results: Short-term temperature increases during storage and transportation were found to have a significant impact on the quality characteristics of sweet pepper. The greatest deterioration was observed in samples stored in open packaging. The use of packaging materials slowed down spoilage to a limited extent. Nevertheless, none of the tested samples met the required quality standards after the shelf-life stated by the producer, underscoring the importance of strict temperature control throughout all stages of the cold chain, including transport to and storage at distribution centers.

Conclusion: The study demonstrates that even short-term temperature deviations in real-world logistics significantly degrade the market quality of sweet pepper, regardless of packaging type. To ensure the retention of nutritional and commercial value, existing cold-chain protocols should be revised, with the implementation of real-time temperature monitoring systems and the optimization of storage intervals.

KEYWORDS

sweet pepper; cold chain; pepper preservation; simulation of temperature conditions; pepper storage; pepper transportation

ВВЕДЕНИЕ

В условиях роста глобального спроса на свежие овощи обеспечение их качественного хранения и транспортирования становится ключевым фактором продовольственной безопасности. Ежегодно в мире производится свыше 1,1 млрд тонн овощной продукции, и по масштабам возделывания сладкий перец (*Capsicum annuum* L.) занимает значимое место среди основных культур, наряду с томатами, капустой, огурцами и баклажанами (Тугова & Несмелова, 2022; Рыжкова, 2016; Солдатенко и др., 2018; Dhamodharan et al., 2022; Moosavi-Nezhad et al., 2024; Baenas et al., 2019). Однако, несмотря на значительный объём производства, потери на этапах логистики остаются высокими: по оценкам ФАО, до 14% продукции портится ещё до поступления на прилавки¹.

Ключевую роль в снижении этих потерь играет соблюдение температурного режима на всех этапах холодильной цепи. Как подчеркивают Mercier et al. (2017), даже кратковременные отклонения от рекомендуемой температуры могут инициировать ускоренные микробиологические и физиологические процессы, способствующие порче продукции. Нарушение температурного баланса приводит к ускоренному старению, гниению, потере тургора и снижению пищевой ценности овощей (Narenthiran et al., 2020; Nychas et al., 2008; Zhao et al., 2022; Shan et al., 2022; Tort et al., 2022; Wang et al., 2023; Duan et al., 2020; Rybak et al., 2022; Kumar et al., 2019; Thakur et al., 2017; Afolabi et al., 2023; Wang et al., 2025). Особенно чувствителен к таким колебаниям сладкий перец, в силу тонкой кожуры и активного метаболизма при повышенной влажности.

Современные исследования часто фокусируются на лабораторно контролируемых условиях, что ограничивает их применимость в реальных логистических сценариях. Так, Raab et al. (2011) отмечают, что в реальных цепочках поставок распространены повторяющиеся температурные скачки при экспедиции, транспортировке и выкладке продукции. В то же время Olsson (2004) и Lei et al. (2023) указывают, что кратковременные колебания температуры в пределах $\pm 5^\circ\text{C}$ могут не оказывать

существенного эффекта на сохранность при коротких логистических циклах. Эти противоречия свидетельствуют о фрагментарности эмпирической базы и требуют более точных исследований с учетом конкретных логистических этапов.

Дополнительным переменным фактором является тип упаковки. Согласно данным Шачека и др. (2023), закрытая упаковка может снижать испарение влаги, но одновременно провоцировать накопление конденсата, ускоряющего микробиологические процессы. Кроме того, температурные колебания могут по-разному влиять на антиоксидантную активность компонентов перца, включая аскорбиновую кислоту и каротиноиды (Мурашов, 2015; Кукушкина и др., 2023; Пугарева, 2024).

Несмотря на наличие отдельных исследований по влиянию условий хранения на перец, остается недостаточно данных о кумулятивном эффекте температурных колебаний, характерных для розничной логистики, особенно в сочетании с типом упаковки. В частности, ранее не изучалось влияние последовательных этапов (зона экспедиции, транспортировка, хранение в магазине) на деградацию качества продукции при разных типах упаковки.

Цель настоящего исследования: экспериментально определить критические звенья холодильной цепи, оказывающие наибольшее влияние на сохранность сладкого перца при моделировании реальных логистических условий. Особое внимание уделяется типу упаковки (открытая/закрытая) и повторяющимся температурным колебаниям.

Для достижения цели были выдвинуты следующие гипотезы:

- (1) Кратковременные, но повторяющиеся отклонения температуры при открытой упаковке вызывают более выраженные дефекты (гниль, увядание), чем при закрытой;
- (2) Комбинированное воздействие температурных стрессов на разных этапах логистики снижает остаточную пригодность перца в большей степени, чем каждый из факторов по отдельности. Эксперимент проводился в сотрудничестве

¹ ФАО. (2019). Состояние продовольствия и сельского хозяйства: Продвижение усилий по сокращению потерь и пищевых отходов (Глава 2). Рим.

с крупным ритейлером, с моделированием пяти температурных режимов, отражающих реалии современной логистики. В каждом режиме анализировались параметры качества перца (визуальные дефекты, отход, нестандарт) в двух вариантах упаковки. Полученные результаты призваны восполнить пробел в научных данных и предложить практические решения для повышения устойчивости холодильной цепи и снижения потерь свежих овощей.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объекты исследования

Объектом исследования являлся свежий красный сладкий перец (*Capsicum annuum* L.), сорт не указан производителем. Сбор урожая произведен 15.01.2024 г., дата закупки — 29.01.2024 г. Таким образом, срок хранения между уборкой и началом исследований составил 14 суток.

Перец был приобретен на агрокластере ОРПЦ «Фуд Сити» (г. Москва, п. Сосенское) у одного произво-

дителя из одной партии. Перцы соответствовали следующим критериям зрелости:

- 1) ярко выраженный красный цвет плодов;
- 2) отсутствие деформаций и повреждений кожуры;
- 3) масса плодов — от 100 до 150 г;
- 4) содержание сухих веществ — не менее 6 %.

На Рисунке 1 представлены образцы перца в транспортной упаковке (а) и на разрезе (б).

Исследования проводились с использованием 20 транспортных упаковок перца (по 4 упаковки на режим). Вес каждой транспортной тары составлял 4–5 кг. Выборка обоснована необходимостью двукратной повторности опытов (открытые и закрытые упаковки) для каждого температурного режима.

Транспортирование перца от поставщика до лаборатории осуществлялась в оригинальной транспортной таре при температуре $8 \pm 1^\circ\text{C}$, время доставки — около 3 ч. Упаковка была частично перфорирована, что обеспечивало минимальную циркуляцию воздуха.

Рисунок 1

Свежий красный сладкий перец

Figure 1

Fresh Red Sweet Pepper



а



б

Примечание. а — перец в транспортной упаковке; б — перец на разрезе.

Note. а — pepper in transport packaging; б — pepper in cross-section.

Дизайн эксперимента

Эксперимент представляет собой двухфакторное исследование, где факторами являются:

- (1) Температурные режимы (P1-P5).
- (2) Тип упаковки (открытая / закрытая).

Каждый температурный режим реализован в двух вариантах упаковки: открытая и закрытая (обмотанная стрейч-плёнкой с перфорацией), по 2 транспортные упаковки на вариант (итого 4 упаковки на режим). Таким образом, в каждой подгруппе $n = 4$ (n — количество независимых наблюдений) (Таблица 1).

Распределение образцов по условиям было произведено случайным образом. Единицей анализа служила транспортная упаковка. Все экспериментальные режимы моделировались в отдельных климатических или холодильных камерах.

Моделирование температурных режимов

Модели, имитирующие холодильную цепь поставок, были составлены на основе реальных данных из систем, собирающих телеметрию по температуре на распределительном центре (РЦ), сортировочном центре, транспорте, при реализации в магазине, таких как Rapid Scada, Адвантум, COM, Xsense и датчиков температур Anemon с функцией GPS. При анализе данных телеметрии и составлении моделей холодильной цепи поставок были исключены пиковые температуры в летнее время года в южных регионах страны, модели имитируют среднегодовую температуру хранения, транспортирования и реализации с учетом имеющейся инфраструктуры транспортной и складской логистики (Таблица 2).

Таблица 1

Распределение образцов по условиям эксперимента

Table 1

Distribution of Samples According to Experimental Conditions

Режим	Температурный профиль	Тип упаковки	Количество упаковок	Повторность
P1	Постоянная температура	откр/закр	4	2
P2	Постоянная температура	откр/закр	4	2
P3	Имитация логистики + ГОСТ	откр/закр	4	2
P4	Имитация логистики	откр/закр	4	2
P5	Имитация логистики	откр/закр	4	2

Таблица 2

Распределение образцов по условиям эксперимента

Table 2

Distribution of Samples According to Experimental Conditions

Режим	Этапы хранения	Температура, (°C)	Длительность, (ч)	Тип упаковки	Примечание
P1	Постоянная температура	8 ± 1	96	откр/закр	ГОСТ Р 50419–92
P2	Постоянная температура	8 ± 1	264	откр/закр	ГОСТ Р 50419–92
P3	Экспедиция → хранение → транспортирование → реализация	переменная	96	откр/закр	см. текст
P4	То же, но с финальной реализацией при 23 ± 1 °C	переменная	96	откр/закр	см. текст
P5	То же, с добавлением этапов сортировочного центра и предварительным транспортированием	переменная	264	откр/закр	см. текст

Условия хранения и контроля

Все экспериментальные режимы моделировались в отдельных климатических и холодильных камерах. С целью подготовки экспериментального стенда была произведена санитарная обработка холодильных и климатических камер в соответствии с Инструкцией по санитарной обработке технологического оборудования и производственных помещений на предприятиях мясной промышленности, разработанной ВНИИ мясной промышленности им. В.М. Горбатова.

Транспортные упаковки размещались на стеллажах на высоте 50 см от пола, расстояние между упаковками — не менее 10 см. В камерах обеспечивалась принудительная вентиляция со скоростью воздушного потока 0,5 м/с.

Контроль параметров среды осуществлялся следующим образом.

(1) Температура контролировалась многоканальным регистратором ИС-203.2 (ООО «НПО ТЕХНО-АС», Россия), с интервалом регистрации 1 раз в минуту. Основные характеристики измерителя-регистратора температуры ИС-203.2 представлены в Таблице 3.

Таблица 3
Основные характеристики измерителя-регистратора температуры ИС-203.2
Table 3
Main Characteristics of the IS-203.2 Temperature Recorder-Identifier

Диапазон измерения, °C	минус 50...500
Предел допускаемой абсолютной погрешности, °C	± 0,2
Разрешающая способность при измерении температуры, °C	0,1
Пределы допускаемой абсолютной погрешности отсчета текущего времени, с/сутки	± 10
Регистрация в Государственном реестре средств измерений РФ	№ 30414–11

(2) Влажность измерялась с помощью гигрометра «ВИТ-1» (ООО ПФ «ШАТЛЫГИН И КО», Россия), с интервалом 1 раз в 2 часа. Основные характеристики гигрометра психрометрического «ВИТ-1» представлены в Таблице 4.

Таблица 4
Основные характеристики гигрометра психрометрического «ВИТ-1»
Table 4
Main Characteristics of the VIT-1 Psychrometric Hygrometer

Диапазон измерения относительной влажности, %	от 0 до 90
Цена деления шкалы термометров, °C	0,2
Абсолютная погрешность после введения поправок, °C	± 0,2
Предел допускаемой абсолютной погрешности гигрометра при скорости аспирации от 0,5 до 1 м/с	
Температура по «сухому» термометру, °C:	Относительная влажность, %
– от 5 до 10	± 7
– свыше 10 до 30	± 6
– свыше 30 до 40	± 5

(3) Оборудование проходило ежегодную метрологическую поверку согласно Госреестру РФ (№ 30414-11 для ИС-203.2);

(4) Камеры использовались исключительно для данного эксперимента, другие образцы не хранились.

Оценка качества образцов

Органолептическая оценка качества перца проводилась экспертами ритейла совместно с исследовательской группой по утвержденным паспортам качества товаров и ГОСТам^{2,3} (Fikiru et al., 2024; Kumar et al., 2019) (Таблица 5).

² ГОСТ Р 57976–2017. Фрукты и овощи свежие. Термины и определения. Введ. 2018–07-01. М.: Стандартинформ, 2017.
³ ГОСТ 4.458–2019. Система показателей качества продукции. Продукты переработки фруктов, овощей и грибов. Номенклатура показателей. Введ. 2020–07-01. М.: Стандартинформ, 2019.

Таблица 5

Балльная шкала оценки качества образцов сладкого перца до и после хранения в пяти температурных режимах и двух типах упаковки ($n = 20$)

Table 5

Scoring Scale for Evaluating the Quality of Sweet Pepper Samples Before and After Storage Under Five Temperature Regimes and Two Packaging Types ($n = 20$)

Критерий	Описание	Баллы	Примечание
Внешний вид	Яркий окрас, без пятен	5	Признаки старения снижают балл
Целостность кожуры	Нет трещин, точек порчи	5	Повреждения ≥ 1 мм – минус балл
Упругость мякоти	Упругая, без увядания	5	Мякоть мягкая – 2 балла и ниже
Отходы	Полностью испорченные экземпляры	–	$> 5\%$ – категория «не соответствует»
Нестандарт	Незначительные дефекты	–	$< 5\%$, допустимо к продаже

Категории:

- (1) «Отход» — плоды с гнилью, плесенью, потерей товарного вида ($> 5\%$);
- (2) «Нестандарт» — плоды с мелкими повреждениями ($< 5\%$), допускается к реализации.

В режиме P1 и P2 весь срок хранения образцы находились при постоянной температуре с отклонением $\pm 1^\circ\text{C}$, но при разной продолжительности хранения. Выбор температурных условий хранения обусловлен требованиями производителя.

Для режимов P3 и P4 были созданы температурные модели, соответствующие реальным возможным отклонениям при транспортировании, хранении и реализации овощей. Первый этап продолжительностью 2 часа с температурой $10 \pm 1^\circ\text{C}$ имитирует зону экспедиции на РЦ предприятия, реализующего продукцию. Второй этап продолжительностью 36 часов с температурой $7 \pm 1^\circ\text{C}$ имитирует хранение на РЦ. Третий этап продолжительностью 2 часа с температурой $10 \pm 1^\circ\text{C}$ имитирует зону отгрузки на РЦ и четвертый этап продолжительностью 5 часов имитирует транспортирование с РЦ до точек реализации продукции. На этапе транспортирования температурный режим составлял $9 \pm 5^\circ\text{C}$, через каждые 40 минут имитируется разгрузка на точке реализации продолжительностью в 20 минут и температурой $13 \pm 1^\circ\text{C}$. Далее температурные условия в режимах отличаются. В P3 до окончания экспериментального хранения имитируется режим хранения согласно требованиям производителя и ГОСТ Р

50419–92 (ИСО 2169–81)⁴ при температуре $8 \pm 1^\circ\text{C}$. В P4 до окончания экспериментального хранения имитируется возможное нахождение продукта в неохлаждаемом помещении в период хранения при реализации в торговой точке при температуре $23 \pm 1^\circ\text{C}$.

Для P5 смоделированы условия аналогичные P4 с добавлением имитации хранения на сортировочном центре продолжительностью 72 часа с температурой $6 \pm 1^\circ\text{C}$ и имитации транспортирования на РЦ продолжительностью 96 часов с температурой $3 \pm 1^\circ\text{C}$

Общая продолжительность экспериментального хранения для режимов P1, P3 и P4 составила 4 суток, для P2 и P5 – 11 суток.

На Рисунках 2–3 представлены схемы температурных режимов хранения сладкого перца.

Размещение транспортных упаковок с перцем в климатической и холодильной камерах представлено на Рисунке 4 (а, б).

Контроль образцов на стандарты качества в каждом из 5 режимов проводили перед закладкой в камеру и после всех этапов имитации реальной холодильной цепи (продажа в магазине).

⁴ ГОСТ Р 50419–92. Фрукты и овощи. Физические условия хранения в охлаждаемых складских помещениях. Определения понятий и измерений. — Введ. 1993–07–01. — М.: Издательство стандартов, 1992. — 8 с.

Рисунок 2
Схема температурных режимов Р1, Р3 и Р4 хранения сладкого перца
Figure 2
Temperature Regimes Schemes for Storage of Sweet Pepper: R1, R3 and R4

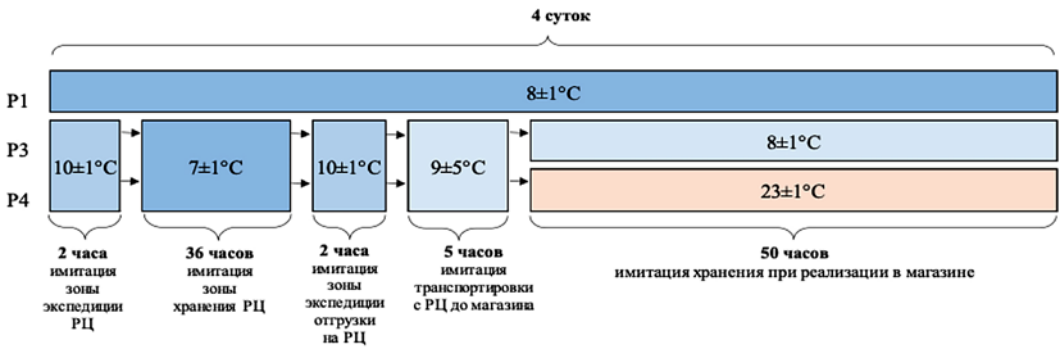


Рисунок 3
Схема температурных режимов Р2 и Р5 хранения сладкого перца
Figure 3
Temperature Regimes Schemes for Storage of Sweet Pepper: R2 and R5

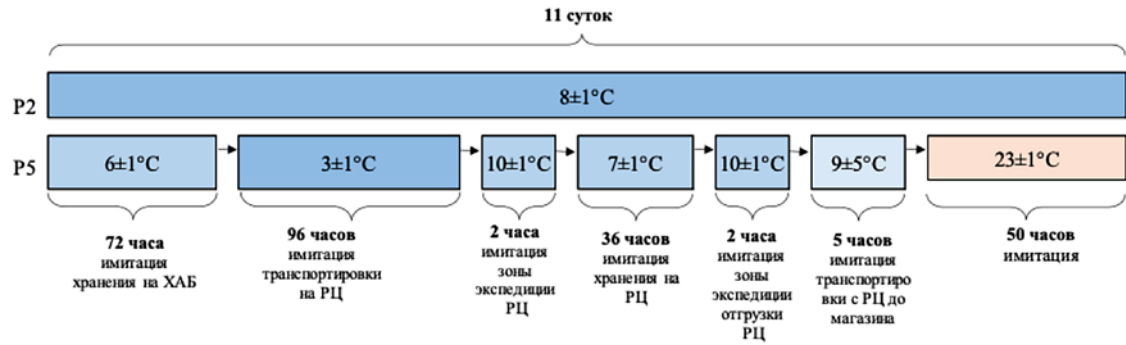
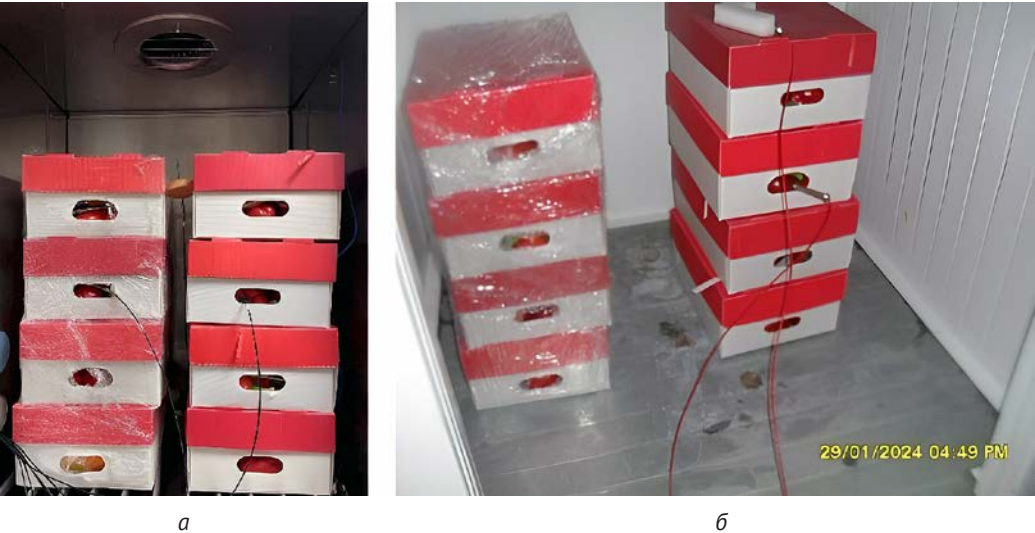


Рисунок 4
Размещение транспортных упаковок со сладким перцем в климатической (а) и холодильной (б) камерах в двух типах упаковки
Figure 4
Placement of Transport Packages with Sweet Pepper in Climate (a) and Refrigeration (b) Chambers in Two Types of Packaging



Оценка фиксировалась в протоколах с фотофиксацией. Участвовало 3 эксперта; результаты усреднялись после согласования.

Через сутки после приобретения у производителя и транспортирования до места проведения исследований для получения данных по исходным качественным характеристикам свежего перца проводили совместно с экспертами ритейла по качеству органолептическую оценку по утвержденной компанией ритейла паспорту качества товаров и ГОСТам. Все образцы перца соответствовали требованиям паспорту качества товаров и ГОСТов. Образцы перца компоновали в 5 партии (каждая партия для отдельного смоделированного температурного режима Р1-Р5) по 4 транспортной тары в каждой (2-х кратная повторность опытов — 2 открытые транспортные упаковки и 2 закрытые, обмотанные стретч пленкой с перфорацией). Средний вес транспортной тары с перцем составил 4–5 кг. Затем помещали на дальнейшее хранение. По окончании всего срока хранения были проанализированы все образцы перца из каждого температурного режима на соответствие паспорту качества товаров и ГОСТов.

Статистическая обработка данных

Для обработки полученных данных использовался программный пакет Microsoft Excel и R версии 4.3.2.

Все данные представлены как среднее значение $\pm$ стандартное отклонение ($M \pm SD$).

Для сравнения между группами использовался однофакторный ANOVA с последующим попарным сравнением по Tukey HSD.

Уровень значимости принимался равным $p < 0.05$.

В таблицах и графиках указана стандартная ошибка среднего (SE) там, где это уместно.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Ниже приведены численные результаты оценки качества сладкого перца, включая долю отходов и нестандарта, по пяти температурным режимам хранения (Р1-Р5) и двум типам упаковки: закрытой и открытой. Таблица 6 суммирует полученные зна-

Таблица 6

Процент отходов и нестандарта у образцов сладкого перца до и после хранения в пяти температурных режимах и двух типах упаковки ($n = 20$)

Table 6

Percentage of Waste and Non-Standard Samples of Sweet Pepper Before and After Storage in Five Temperature Regimes and Two Types of Packaging ($n = 20$)

Режим	Оценка качества, контроль	Упаковка	Отход, %	Нестандарт, %	Характеристика отхода	Характеристика нестандарта
P1	Входной	—	2,7	0	Гниль	
	Выходной	Закрытая	6,4	13,9	Гниль, плесень	Плесень плодоножки, увядание
	Выходной	Открытый	6,7	7	Гниль, плесень	Плесень плодоножки, увядание
P2	Входной	—	0	0	—	—
	выходной	Закрытая	0	39,8	—	плесень плодоножки, увядание
	Выходной	Открытый	1,3	20	Гниль, плесень	Плесень плодоножки, увядание
P3	Входной	—	0	0	—	—
	выходной	Закрытая	0	5,3	—	плесень плодоножки, увядание
	Выходной	Открытый	20	8	Гниль, плесень	Плесень плодоножки, увядание

Окончание Таблицы 6

Режим	Оценка качества, контроль	Упаковка	Отход, %	Нестандарт, %	Характеристика отхода	Характеристика нестандарта
P4	Входной	—	0	0	—	—
	выходной	Закрытая	9,2	14	Гниль, плесень	Плесень плодоножки, увядание
	выходной	Открытый	20,9	6,7	Гниль, плесень	Плесень плодоножки, увядание
P5	Входной	—	0	0	—	—
	выходной	Закрытая	33,0	8	Гниль, плесень	Плесень плодоножки, увядание
	выходной	Открытый	53,0	13	Гниль, плесень	Плесень плодоножки, увядание

Примечание. Соответствие — отход (загнив, плесень) от 0 до 5 % и нестандарт (увядание, потертость, осыпь) от 0 до 10 %. Несоответствие — отход (загнив, плесень) более 5 % или нестандарт (увядание, потертость, осыпь) более 10 %.

Note. Compliance — waste (rot, mold) from 0 to 5 % and non-standard (wilting, abrasion, shedding) from 0 to 10 %. Non-compliance — waste (rot, mold) more than 5 % or non-standard (wilting, abrasion, shedding) more than 10 %.

чения, а Рисунки 5–9 демонстрируют температурные профили хранения для каждого режима.

Наибольший уровень отходов после хранения наблюдался в режиме P5 при открытой упаковке (53 %), а минимальный — в режиме P2 при закрытой упаковке (0 %). В режиме P3 отходы в закрытой упаковке составили 0 %, тогда как в открытой — достигли 20 %. По доле нестандарта максимальное значение зарегистрировано в режиме P2 при закрытой упаковке (39,8 %).

Среднее значение отходов по всем режимам хранения составило $14,6 \pm 17,1$ % для закрытой упаковки

и $20,4 \pm 19,5$ % для открытой. Различия между типами упаковки статистически значимы ($p < 0,05$; *U*-критерий Манна-Уитни). Наиболее выраженный эффект упаковки был зафиксирован в режимах P2 и P3.

Термограммы хранения сладкого красного перца при экспериментальных режимах P1–P5 представлены на Рисунках 5–9.

Максимальная амплитуда суточных колебаний температуры была зафиксирована в режимах P4 и P5 (до $\pm 2,1$ °C), тогда как в режимах P1–P3 колебания не превышали $\pm 1,3$ °C. Продолжитель-

Рисунок 5

Термограмма хранения сладкого перца при экспериментальном режиме P1

Figure 5

Thermogram of Sweet Pepper Storage Under Experimental Regime R1



Рисунок 6

Термограмма хранения сладкого перца при экспериментальном режиме P2

Figure 6

Thermogram of Sweet Pepper Storage Under Experimental Regime R2

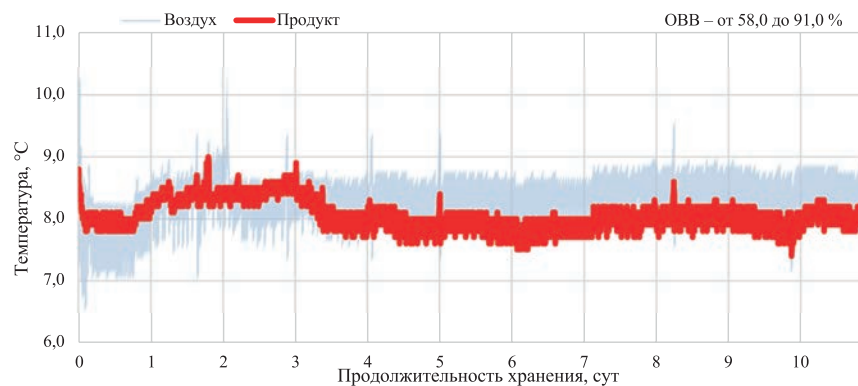


Рисунок 7

Термограмма хранения сладкого перца при экспериментальном режиме P3

Figure 7

Thermogram of Sweet Pepper Storage Under Experimental Regime R3

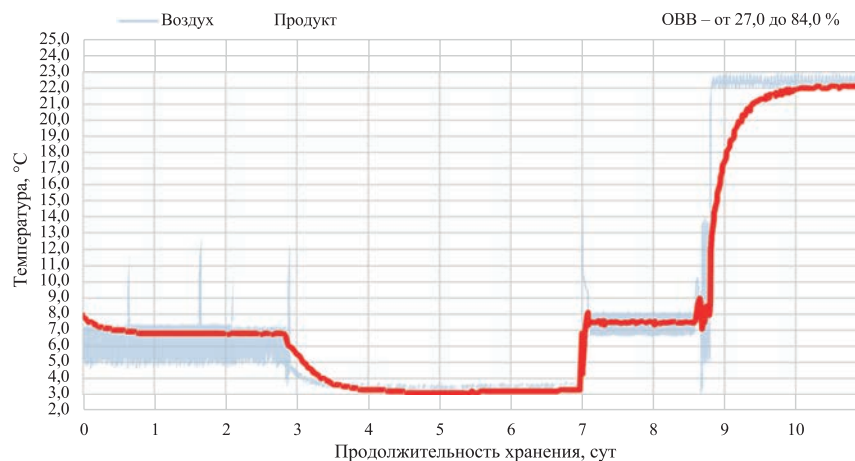


Рисунок 8

Термограмма хранения сладкого перца при экспериментальном режиме P4

Figure 8

Thermogram of Sweet Pepper Storage Under Experimental Regime R4

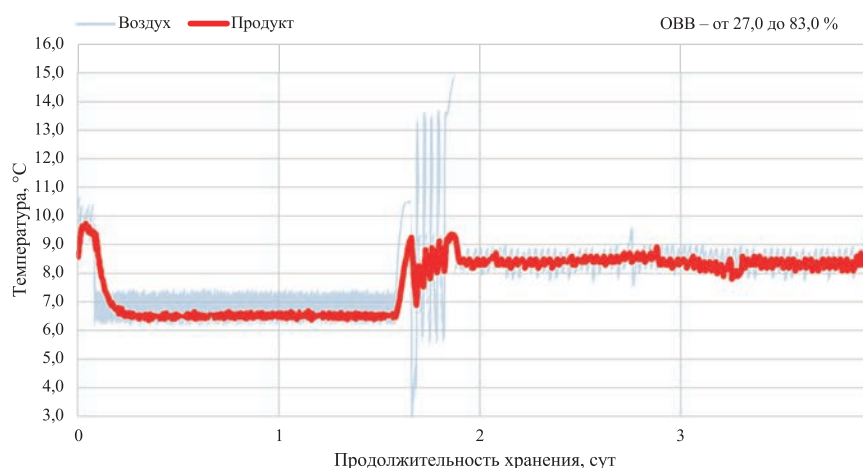
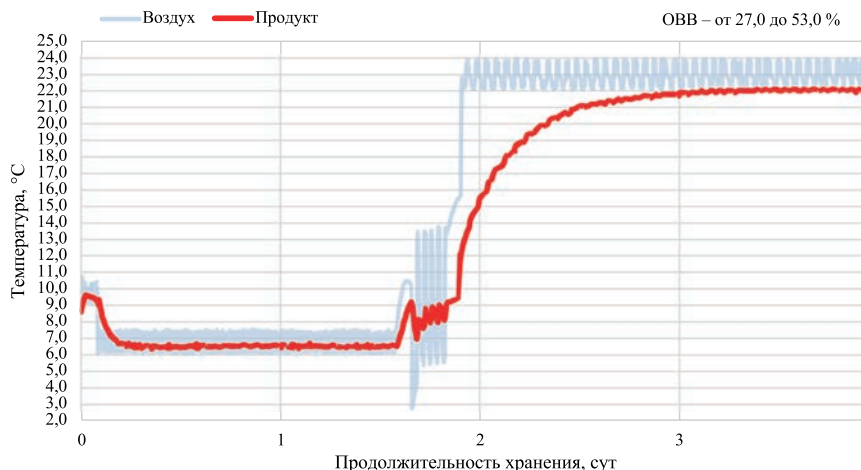


Рисунок 9

Термограмма хранения сладкого перца при экспериментальном режиме P5

Figure 9

Thermogram of Sweet Pepper Storage Under Experimental Regime R5



ность хранения коррелировала с уровнем отходов ($r = 0,81, p < 0,01$).

Для всех режимов хранения сравнивались показатели качества перца в закрытой и открытой транспортной упаковке. Доля отходов в открытой упаковке оказалась выше на 5,8% в среднем по всем режимам ($p < 0,05$). Наибольшая разница наблюдалась в режимах P2 и P3, где в закрытой упаковке потери составили 0%, а в открытой — 1,3% и 20% соответственно. Вместе с тем, в режиме P5 различия между типами упаковки были менее выраженными: 33% отходов в закрытой упаковке и 53% — в открытой. Это указывает на снижение защитного эффекта упаковки при высоких температурах хранения.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Полученные в ходе исследования данные подтверждают критическую зависимость качества сладкого перца от параметров температурного режима и типа упаковки при хранении в условиях, имитирующих реальную розничную логистику. Результаты демонстрируют, что даже кратковременное повышение температуры на отдельных этапах холодильной цепи приводит к существенному росту доли отходов и нестандартной продукции, особенно в случае хранения в открытой упаковке. Эти наблюдения согласуются с ранее опубликованными данными, свидетельствующими о высокой чув-

ствительности овощей к температурным колебаниям и нарушению холодильной цепи (Mercier et al., 2017; Narenthiran et al., 2020; Zhao et al., 2022).

Наибольшее снижение качества было зафиксировано в температурном режиме P5, имитирующем расширенный логистический цикл с несколькими этапами транспортирования, сортировки и финального хранения при комнатной температуре ($23 \pm 1^\circ\text{C}$). В этом режиме доля отходов достигала 53% в открытой упаковке и 33% — в закрытой, что указывает как на выраженное деградационное влияние высоких температур, так и на ограниченность компенсирующего эффекта упаковки. Данный результат сопоставим с данными ВНИИО (2022), согласно которым после 35 суток хранения при $6-9^\circ\text{C}$ потери достигали 40–48%, однако в настоящем исследовании значительное ухудшение качества произошло уже спустя 11 суток при переменном температурном воздействии, что может свидетельствовать о высокой нагрузке логистического сценария на сохранность продукции (Янченко и др., 2022).

Эффективность упаковки варьировалась в зависимости от температурных условий. При температурах до 9°C (режимы P1–P3) закрытая упаковка демонстрировала статистически значимое снижение уровня отходов по сравнению с открытой (в среднем на 5,8%), что подтверждает данные литературы о роли упаковки в снижении интенсивности испарения влаги и уменьшении риска увядания

(Шачек и др., 2023; Ilić et al., 2012; Dwibedi et al., 2024; Adhikary et al., 2022). В частности, в режиме P3, где температура хранения соответствовала ГОСТу, в закрытой упаковке не было зафиксировано отходов, тогда как в открытой они составили 20 %.

Однако при повышенных температурах эффективность упаковки снижалась. В режиме P5, несмотря на наличие герметичной обмотки, развитие гнили и плесени происходило как в открытой, так и в закрытой таре, что указывает на формирование внутриупаковочной микросреды, благоприятной для роста патогенов. Подобный эффект описан в работе Cerit и Demirkol (2020), где показано, что сочетание высокой влажности и температуры в закрытой упаковке может стимулировать микробиологические процессы. Данные наблюдения также находят подтверждение в исследованиях, подчеркивающих значимость контроля не только температуры, но и относительной влажности в упаковке (Хацкевич, 2020).

Отдельный интерес представляет ситуация, зафиксированная в режиме P2, где при длительном хранении при 8 ± 1 °C в закрытой упаковке наблюдалась высокая доля нестандарта (39,8 %) при отсутствии отходов. Это может свидетельствовать о физиологической активности перцев в условиях повышенной влажности, способствующей увяданию и снижению тургора, что не противоречит результатам, полученным Кукушкиной (2023) и Мурашовым (2015) в контексте влияния микроклимата на накопление и деградацию антиоксидантов.

Таким образом, выявленные зависимости позволяют уточнить ряд эмпирических положений. Во-первых, упаковка эффективна только при условии соблюдения рекомендуемого температурного диапазона (до 12–14 °C), при превышении которого её защитные свойства нивелируются. Во-вторых, кумулятивный эффект температурных колебаний, характерный для реальной розничной логистики, оказывает более разрушительное влияние на качество продукции, чем любой из изолированных факторов, что согласуется с подходами, ориентированными на моделирование комплексного логистического воздействия (Raab et al., 2011). В-третьих, особенности микроклимата упаковки требуют отдельного изучения, особенно с точки зрения использования модифицированной атмосферы и антибактериальных покрытий, о чем также

упоминается в перспективных работах (Fikiru et al., 2024).

Несмотря на убедительность полученных результатов, исследование имеет ряд ограничений, включая отсутствие микробиологического анализа, ограниченность выборки ($n = 20$), а также использование только одной партии перца. Эти факторы могут снижать воспроизводимость и обобщаемость выводов. В дальнейшем представляется целесообразным проведение полевых исследований с использованием онлайн-мониторинга температуры и влажности на всех этапах логистической цепи, а также расширение исследовательского дизайна за счёт включения микробиологических и биохимических показателей.

В целом, настоящее исследование дополняет существующую эмпирическую базу и подчеркивает необходимость комплексного подхода к обеспечению сохранности скоропортящихся овощей. Результаты могут быть использованы для оптимизации условий транспортирования, выбора упаковки и регламентации логистических интервалов с целью снижения потерь и повышения устойчивости цепей поставок.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования подтверждают, что даже кратковременное воздействие повышенных температур в процессе хранения и транспортирования оказывает существенное влияние на остаточный срок годности сладкого перца. Установлено, что наибольшие потери качества наблюдаются у образцов, хранившихся без упаковки, тогда как использование герметичной или модифицированной атмосферной упаковки позволяет частично снизить интенсивность деградиационных процессов. Однако ни одна из исследуемых партий не соответствовала установленным стандартам качества к концу наблюдаемого срока реализации. Это свидетельствует о системном характере проблемы, связанной с сохранением товарного состояния продукции на всех этапах цепочки поставок.

Результаты исследования имеют важное практическое значение для участников аграрно-промышленного комплекса и логистических операторов. Во-первых, необходимо строго соблюдать темпе-

ратурные режимы при транспортировании и хранении скоропортящейся овощной продукции, особенно в условиях импортозамещения и увеличения протяженности внутренних логистических цепочек. Во-вторых, следует внедрять современные методы упаковки, способные компенсировать неблагоприятные условия внешней среды. В-третьих, целесообразно разработать и внедрить единые стандарты контроля качества продукции на каждом этапе от производителя до ритейла, включая обязательный мониторинг параметров хранения и транспортирования.

Дальнейшие исследования должны быть направлены на углубленный анализ логистических цепочек с точки зрения их устойчивости к климатическим и сезонным факторам, а также на разработку адаптивных систем управления качеством продукции в реальном времени. Перспективным направлением является изучение влияния комбинированных факторов (температура, влажность, сроки доставки) на физико-химические показатели плодов, а также моделирование оптимальных маршрутов доставки с учетом минимизации потерь. Кроме того, актуальным остается вопрос разработки государственной политики в сфере контроля качества импортозамещающей продукции и формирования стандартов постгарантийного качества.

ЛИТЕРАТУРА

- Кукушкина, Д. О., Журавлева, Д. А., & Коваль, Е. В. (2023). Оценка влияния отрицательных температур на накопление веществ с антиоксидантной активностью в землянике. *Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова*, (2), 658–663.
- Мурашев С.В. (2015). Изменение содержания аскорбиновой кислоты при хранении и переработке. *Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета*, (41), 64–68.
- Пугарева, М. А. (2024). Влияние низких температур на накопление веществ антиоксидантными свойствами в болгарском перце. *Сборник трудов LVIII международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых* (с. 121–220). Государственный аграрный университет Северного Зауралья.
- Рыжкова, С. М. (2016). Мировой рынок плодоовощной продукции: тенденции и направления. *Вестник Института дружбы народов Кавказа (Теория экономики и управления народным хозяйством). Экономические науки*, 1(37), 176–186.
- Солдатенко, А. В., Разин, А. Ф., Шатилов, М. В., Иванова, М. И., Разин, О. А., Россинская, О. В., & Башкиров, О. В. (2018). Межрегиональный обмен в контексте выравнивания потребления овощей в субъектах федерации. *Овощи России*, (6), 41–46. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2018-6-41-46>

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Никитин Владимир Владиславович: разработка концепции; формальный анализ; проведение исследования; научное руководство; валидация результатов; визуализация; написание черновика рукописи.

Сучков Александр Николаевич: курирование данных; получение финансирования; разработка методологии; административное руководство исследовательским проектом; предоставление ресурсов; написание рукописи — рецензирование и редактирование.

AUTHORS' CONTRIBUTIONS

Nikitin Vladimir Vladislavovich: conceptualization; formal analysis; investigation; supervision; validation; visualization; writing — original draft preparation.

Suchkov Alexander Nikolaevich: data curation; funding acquisition; methodology; project administration; resources; writing — review & editing.

- Тугова, Т. Н., & Несмелова, Л. А. (2022). Анализ мирового производства овощных культур. *Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии*, 4(72), 41–49. <https://doi.org/10.48012/1817-5457-2022-4-41-49>
- Хацкевич, Ю. Г. (2020). Хранение фруктов и овощей. Litres.
- Шачек, Т. М., Зеленкова, Е. Н., Травкина, С. Г., Пенкрат, А. С., & Мешкова, А. С. (2023). Планирование эксперимента при оценке сроков годности пищевой продукции. *Труды БГТУ. Сер. 2, Химические технологии, биотехнологии, геоэкология*, 1(265), 5–14. <https://doi.org/10.52065/2520-2669-2023-265-1-1>
- Янченко, Е. В., Енгальчев, Д. И., Енгальчева, Н. А., & Алексеева, К. Л. (2022). Влияние мульчирующих материалов на урожайность, биохимический состав и сохраняемость плодов перца сладкого. *Овощи России*, (6), 90–96. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2022-6-90-96>
- Adhikary, T., & Kumar, D. H. (2022). Packaging systems of fruits and vegetables. *Postharvest Technology: Recent Advances, New Perspectives and Applications*, 151. <https://doi.org/10.5772/intechopen.101124>
- Afolabi, A. S., Choi, I. L., Lee, J. H., Kwon, Y. B., & Kang, H. M. (2023). High-relative-humidity storage reduces the chilling injury symptoms of red sweet peppers in the breaker stage. *Horticulturae*, 9(1), 116. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9010116>
- Baenas, N., Belović, M., Ilic, N., Moreno, D. A., & García-Viguera, C. (2019). Industrial use of pepper (*Capsicum annum* L.) derived products: Technological benefits and biological advantages. *Food Chemistry*, 274, 872–885. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.09.047>
- Cerit, I., & Demirkol, O. (2020). Effects of modified atmosphere packaging conditions and ethylene absorber on the quality of red bell pepper. *Journal of Food & Nutrition Research*, 59(1), 35–43.
- Dhamodharan, K., Vengaimaran, M., & Sankaran, M. (2022). Pharmacological properties and health benefits of capsicum species: A comprehensive review. In *Capsicum-Current Trends and Perspectives*. Intech Open. <https://doi.org/10.5772/intechopen.104906>
- Duan, Y., Wang, G.-B., Fawole, O. A., Verboven, P., Zhang, X.-R., Wu, D., Opara, U. L., Nicolai, B., & Chen, K. (2020). Postharvest precooling of fruit and vegetables: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 100, 278–291. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.04.027>
- Dwibedi, V., Kaur, G., George, N., Rana, P., Ge, Y., & Sun, T. (2024). Research progress in the preservation and packaging of fruits and vegetables: From traditional methods to innovative technologies. *Food Packaging and Shelf Life*, 46, 101385. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2024.101385>
- Fikiru, O., Dulo, H. Z., Forsido, S. F., Tola, Y. B., & Astatkie, T. (2024). Effect of packaging materials and storage duration on the functional quality of red hot peppers (*Capsicum annum* L.) pods. *Heliyon*, 10(12), e32921. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e32921>
- Ilić, Z. S., Trajković, R., Pavlović, R., Alkalai-Tuvia, S., Perzelan, Y., & Fallik, E. (2012). Effect of heat treatment and individual shrink packaging on quality and nutritional value of bell pepper stored at suboptimal temperature. *International Journal of Food Science and Technology*, 47(1), 83–90. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2011.02810.x>
- Kumar, S., Thakur, K. S., & Jyoti, K. (2019). Evaluation of different edible coatings for quality retention and shelf life extension of bell pepper (*Capsicum annum* L.). *Plant Archives*, 19(2), 1056–1062.
- Lei, Y., Zhang, Y., Cheng, Y., Huang, J., & Huang, M. (2023). Monitoring and identification of spoilage-related microorganisms in braised chicken with modified atmosphere packaging during refrigerated storage. *Food Science and Human Wellness*, 12(1), 28–34. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2022.07.015>
- Mercier, S., Villeneuve, S., Mondor, M., & Uysal, I. (2017). Time-temperature management along the food cold chain: A review of recent developments. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16(4), 647–667. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12269>
- Moosavi-Nezhad, M., Homayoonzadeh, M., Tsaniklidis, G., Roessner, U., Woltering, E. J., Fanourakis, D., & Aliniaefard, S. (2024). Enhancing shelf life of bell peppers through preharvest fertigation with calcium and potassium thiosulfate: A focus on antioxidant

- and cell wall degradation enzymes. *Journal of Agriculture and Food Research*, 17, 101262. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101262>
- Narenthiran, N., Prasanna, P., Poongkundran, T., Anbuudayasankar, S. P., Narassima, M. S., & Aravind, P. (2020). An analysis of various factors influencing postharvest losses of the fruit and vegetable supply chain. *International Journal of Postharvest Technology and Innovation*, 7(4), 295–318. <https://doi.org/10.1504/IJPTI.2020.110878>
- Nychas, G. J. E., Skandamis, P. N., Tassou, C. C., & Koutsoumanis, K. P. (2008). Meat spoilage during distribution. *Meat Science*, 78(1–2), 77–89. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2007.06.020>
- Olsson, A. (2004). Temperature controlled supply chains call for improved knowledge and shared responsibility. In *Proceedings of the 16th Annual Conference Nofoma: Logistics Management*. Linköpings Universitet.
- Raab, V., Petersen, B., & Kreyenschmidt, J. (2011). *Temperature monitoring in meat supply chains*. *British Food Journal*, 113, 1267–1289. <https://doi.org/10.1108/00070701111177683>
- Rybak, K., Wiktor, A., Kaveh, M., Dadan, M., Witrowa-Rajchert, D., & Nowacka, M. (2022). Effect of thermal and non-thermal technologies on kinetics and the main quality parameters of red bell pepper dried with convective and microwave-convective methods. *Molecules*, 27(7), 2164. <https://doi.org/10.3390/molecules27072164>
- Shan, Y., Zhang, D., Luo, Z., Li, T., Qu, H., Duan, X., & Jiang, Y. (2022). Advances in chilling injury of postharvest fruit and vegetable: Extracellular ATP aspects. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 21(5), 4251–4273. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.13003>
- Thakur, K. S., Jyoti, K., Kumar, S., & Gautum, S. (2017). Improvement of postharvest keeping quality of bell pepper (*Capsicum annum* L.) fruits treated with different chemicals following cold storage. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6(7), 2462–2475. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.607.291>
- Tiamiyu, Q. O., Adebayo, S. E., & Ibrahim, N. (2023). Recent advances on postharvest technologies of bell pepper: A review. *Heliyon*, 9(4), e15302. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e15302>
- Tort, Ö. Ö., Vayvay, Ö., & Çobanoğlu, E. (2022). A systematic review of sustainable fresh fruit and vegetable supply chains. *Sustainability*, 14(3), 1573. <https://doi.org/10.3390/su14031573>
- Wang, S. Y., Herrera-Balandrano, D. D., Jiang, Y. H., Shi, X. C., Chen, X., Liu, F. Q., & Laborda, P. (2023). Application of chitosan nanoparticles in quality and preservation of postharvest fruits and vegetables: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 22(3), 1722–1762. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.13128>
- Wang, X., Luo, D., Chen, J., Cao, S., & Ba, L. (2025). Effect of carvacrol on postharvest quality, antioxidant system and volatile substance metabolism of peppers (*Capsicum annum* L.). *Journal of Stored Products Research*, 111, 102583. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2025.102583>
- Yimenu, S. M., Koo, J., Kim, B. S., Kim, J. H., & Kim, J. Y. (2019). Freshness-based real-time shelf-life estimation of packaged chicken meat under dynamic storage conditions. *Poultry Science*, 98(12), 6921–6930. <https://doi.org/10.3382/ps/pez461>
- Zhao, F., Wei, Z., Zhou, G., Kristiansen, K., & Wang, C. (2022). Effects of different storage temperatures on bacterial communities and functional potential in pork meat. *Foods*, 11(15), 2307. <https://doi.org/10.3390/foods11152307>

REFERENCES

- Kukushkina, D. O., Zhuravleva, D. A., & Koval, E. V. (2023). Assessment of the effect of negative temperatures on the accumulation of substances with antioxidant properties in strawberries. *Kabardino-Balkarian State University named after H.M. Berbekov*, (2), 658–663. (In Russ.).
- Murashev, S. V. (2015). Changes in Ascorbic Acid Content During Storage and Processing. *Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian Universiti*, (41), 64–68. (In Russ.).
- Pugareva, M. A. (2024). Effect of low temperatures on the accumulation of substances with antioxidant properties in bell pepper. *Proceedings of the LVIII International Scientific and practical Conference of students, postgraduates and young scientists* (pp. 121–220). State Agrarian University of the Northern Urals. (In Russ.).

- Ryzhkova, S. M. (2016). The global market of fruit and vegetable products: trends and directions.. *Bulletin Peoples' Friendship Institute of the Caucasus «The economy and national economy management» — Economic sciences*, 1 (37), 176–186. (In Russ.).
- Soldatenko, A. V., Razin, A. F., Shatilov, M. V., Ivanova, M. I., Razin, O. A., Rossinskaya, O. V., & Bashkirov, O. V. (2018). Interregional exchange in the context of the alignment of the consumption of vegetables in subjects of the Russian Federation. *Vegetable crops of Russia*, (6), 41–46. (In Russ.). <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2018-6-41-46>
- Tutova, T. N., & Nesmelova, L. A. (2022). Analysis of world production of vegetable crops. *The Bulletin of Izhevsk State Agricultural Academy*, 4(72), 41–49. (In Russ.). <https://doi.org/10.48012/1817-5457-2022-4-41-49>
- Khatskevich, Yu. G. (2020). Storage of fruits and vegetables. Litres. (In Russ.).
- Shatchek, T. M., Zelenkova, E. N., Travkina, S. G., Penkrat, A. S., & Meshkova, A. S. (2023). Experimental design in shelf life evaluation of food products. *Proceedings of BSTU, issue 2, Chemical Engineering, Biotechnologies, Geoecology*, 1(265), 5–14. (In Russ.). <https://doi.org/10.52065/2520-2669-2023-265-1-1>
- Yanchenko, E. V., Engalychev, D. I., Engalycheva, N. A., & Alekseeva, K. L. (2022). The effect of mulching materials on yield, biochemical composition and preservation of fruits of bell pepper. *Vegetable crops of Russia*, 6, 90–96. (In Russ.). <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2022-6-90-96>
- Adhikary, T., & Kumar, D. H. (2022). Packaging systems of fruits and vegetables. *Postharvest Technology: Recent Advances, New Perspectives and Applications*, 151. <https://doi.org/10.5772/intechopen.101124>
- Afolabi, A. S., Choi, I. L., Lee, J. H., Kwon, Y. B., & Kang, H. M. (2023). High-relative-humidity storage reduces the chilling injury symptoms of red sweet peppers in the breaker stage. *Horticulturae*, 9(1), 116. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9010116>
- Baenas, N., Belović, M., Ilic, N., Moreno, D. A., & García-Viguera, C. (2019). Industrial use of pepper (*Capsicum annum* L.) derived products: Technological benefits and biological advantages. *Food Chemistry*, 274, 872–885. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.09.047>
- Cerit, I., & Demirkol, O. (2020). Effects of modified atmosphere packaging conditions and ethylene absorber on the quality of red bell pepper. *Journal of Food & Nutrition Research*, 59(1), 35–43.
- Dhamodharan, K., Vengaimaran, M., & Sankaran, M. (2022). Pharmacological properties and health benefits of capsicum species: A comprehensive review. In *Capsicum-Current Trends and Perspectives*. Intech Open. <https://doi.org/10.5772/intechopen.104906>
- Duan, Y., Wang, G.-B., Fawole, O. A., Verboven, P., Zhang, X.-R., Wu, D., Opara, U. L., Nicolai, B., & Chen, K. (2020). Postharvest precooling of fruit and vegetables: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 100, 278–291. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.04.027>
- Dwibedi, V., Kaur, G., George, N., Rana, P., Ge, Y., & Sun, T. (2024). Research progress in the preservation and packaging of fruits and vegetables: From traditional methods to innovative technologies. *Food Packaging and Shelf Life*, 46, 101385. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2024.101385>
- Fikiru, O., Dulo, H. Z., Forsido, S. F., Tola, Y. B., & Astatkie, T. (2024). Effect of packaging materials and storage duration on the functional quality of red hot peppers (*Capsicum annum* L.) pods. *Heliyon*, 10(12), e32921. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e32921>
- Ilić, Z. S., Trajković, R., Pavlović, R., Alkalai-Tuvia, S., Perzelan, Y., & Fallik, E. (2012). Effect of heat treatment and individual shrink packaging on quality and nutritional value of bell pepper stored at suboptimal temperature. *International Journal of Food Science and Technology*, 47(1), 83–90. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2011.02810.x>
- Kumar, S., Thakur, K. S., & Jyoti, K. (2019). Evaluation of different edible coatings for quality retention and shelf life extension of bell pepper (*Capsicum annum* L.). *Plant Archives*, 19(2), 1056–1062.
- Lei, Y., Zhang, Y., Cheng, Y., Huang, J., & Huang, M. (2023). Monitoring and identification of spoilage-related microorganisms in braised chicken with modified atmosphere

- packaging during refrigerated storage. *Food Science and Human Wellness*, 12(1), 28–34. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2022.07.015>
- Mercier, S., Villeneuve, S., Mondor, M., & Uysal, I. (2017). Time-temperature management along the food cold chain: A review of recent developments. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16(4), 647–667. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12269>
- Moosavi-Nezhad, M., Homayoonzadeh, M., Tsaniklidis, G., Roessner, U., Woltering, E. J., Fanourakis, D., & Aliniaiefard, S. (2024). Enhancing shelf life of bell peppers through preharvest fertigation with calcium and potassium thiosulfate: A focus on antioxidant and cell wall degradation enzymes. *Journal of Agriculture and Food Research*, 17, 101262. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101262>
- Narenthiran, N., Prasanna, P., Poongkundran, T., Anbuudayasankar, S. P., Narassima, M. S., & Aravind, P. (2020). An analysis of various factors influencing postharvest losses of the fruit and vegetable supply chain. *International Journal of Postharvest Technology and Innovation*, 7(4), 295–318. <https://doi.org/10.1504/IJPTI.2020.110878>
- Nychas, G. J. E., Skandamis, P. N., Tassou, C. C., & Koutsoumanis, K. P. (2008). Meat spoilage during distribution. *Meat Science*, 78(1–2), 77–89. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2007.06.020>
- Olsson, A. (2004). Temperature controlled supply chains call for improved knowledge and shared responsibility. In *Proceedings of the 16th Annual Conference Nofoma: Logistics Management*. Linköpings Universitet.
- Raab, V., Petersen, B., & Kreyenschmidt, J. (2011). *Temperature monitoring in meat supply chains*. *British Food Journal*, 113, 1267–1289. <https://doi.org/10.1108/00070701111177683>
- Rybak, K., Wiktor, A., Kaveh, M., Dadan, M., Witrowa-Rajchert, D., & Nowacka, M. (2022). Effect of thermal and non-thermal technologies on kinetics and the main quality parameters of red bell pepper dried with convective and microwave-convective methods. *Molecules*, 27(7), 2164. <https://doi.org/10.3390/molecules27072164>
- Shan, Y., Zhang, D., Luo, Z., Li, T., Qu, H., Duan, X., & Jiang, Y. (2022). Advances in chilling injury of postharvest fruit and vegetable: Extracellular ATP aspects. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 21(5), 4251–4273. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.13003>
- Thakur, K. S., Jyoti, K., Kumar, S., & Gautum, S. (2017). Improvement of postharvest keeping quality of bell pepper (*Capsicum annum L.*) fruits treated with different chemicals following cold storage. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6(7), 2462–2475. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.607.291>
- Tiamiyu, Q. O., Adebayo, S. E., & Ibrahim, N. (2023). Recent advances on postharvest technologies of bell pepper: A review. *Heliyon*, 9(4), e15302. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e15302>
- Tort, Ö. Ö., Vayvay, Ö., & Çobanoğlu, E. (2022). A systematic review of sustainable fresh fruit and vegetable supply chains. *Sustainability*, 14(3), 1573. <https://doi.org/10.3390/su14031573>
- Wang, S. Y., Herrera-Balandrano, D. D., Jiang, Y. H., Shi, X. C., Chen, X., Liu, F. Q., & Laborda, P. (2023). Application of chitosan nanoparticles in quality and preservation of postharvest fruits and vegetables: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 22(3), 1722–1762. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.13128>
- Wang, X., Luo, D., Chen, J., Cao, S., & Ba, L. (2025). Effect of carvacrol on postharvest quality, antioxidant system and volatile substance metabolism of peppers (*Capsicum annum L.*). *Journal of Stored Products Research*, 111, 102583. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2025.102583>
- Yimenu, S. M., Koo, J., Kim, B. S., Kim, J. H., & Kim, J. Y. (2019). Freshness-based real-time shelf-life estimation of packaged chicken meat under dynamic storage conditions. *Poultry Science*, 98(12), 6921–6930. <https://doi.org/10.3382/ps/pez461>
- Zhao, F., Wei, Z., Zhou, G., Kristiansen, K., & Wang, C. (2022). Effects of different storage temperatures on bacterial communities and functional potential in pork meat. *Foods*, 11(15), 2307. <https://doi.org/10.3390/foods11152307>

ОБ АВТОРАХ:

Сучков Александр Николаевич, научный сотрудник сектора холодильных технологий и разработки НТД отдела холодильно-технологических систем ВНИИХИ – филиала ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН (127422, г. Москва, ул. Костякова, дом 12), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7898-5124>, Scopus ID: 57211623755, Researcher ID: AAE-2184-2019, SPIN-код: 9510-3923, a.suchkov@fncps.ru.

Никитин Владимир Владиславович, научный сотрудник сектора холодильных технологий и разработки НТД отдела холодильно-технологических систем ВНИИХИ – филиала ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН (127422, г. Москва, ул. Костякова, дом 12), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1584-9483>, Scopus ID 57205168834, Researcher ID: IST-1061-2023, SPIN-код: 5443-9232, v.nikitin@fncps.ru.

ABOUT THE AUTHORS:

Alexander N. Suchkov, Researcher of the Refrigeration Technologies and Regulatory Documentation Development Sector, Department of Refrigeration and Technological Systems All-Russian Scientific Research Institute of Refrigeration Industry – Branch of V. M. Gorbatoev Federal Research Center for Food Systems of RAS (127422, Moscow, Kostyakova Street, 12), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7898-5124>, Scopus ID 57211623755, Researcher ID: AAE-2184-2019, SPIN-code: 9510-3923, a.suchkov@fncps.ru

Vladimir V. Nikitin, Researcher of the Refrigeration Technologies and Regulatory Documentation Development Sector, Department of Refrigeration and Technological Systems All-Russian Scientific Research Institute of Refrigeration Industry – Branch of V. M. Gorbatoev Federal Research Center for Food Systems of RAS (127422, Moscow, Kostyakova Street, 12), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1584-9483>, Scopus ID 57205168834, Researcher ID: IST-1061-2023, SPIN-code: 5443-9232, v.nikitin@fncps.ru.