

# Комплекс технологий для длительного хранения плодов яблок сорта Гала

Федеральный научный центр  
имени И. В. Мичурина,  
г. Мичуринск, Российская Федерация

В. А. Гудковский, Л. В. Кожина, Ю. Б. Назаров, А. В. Сутормина

## КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

**Владимир Александрович Гудковский**  
E-mail: gudkovskiy37@mail.ru

## ЗАЯВЛЕНИЕ О ДОСТУПНОСТИ ДАННЫХ:

данные текущего исследования  
доступны по запросу  
у корреспондирующего автора.

## ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Гудковский, В.А., Кожина, Л.В.,  
Назаров, Ю.Б., & Сутормина, А.В. (2024).  
Комплекс технологий для длительного  
хранения плодов яблок сорта Гала.  
*Хранение и переработка сельхозсырья*,  
32(2), 133-146.  
<https://doi.org/10.36107/spfp.2024.2.495>

**ПОСТУПИЛА:** 19.11.2023

**ДОРАБОТАНА:** 03.04.2024

**ПРИНЯТА:** 15.06.2024

**ОПУБЛИКОВАНА:** 30.06.2024

## КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

авторы сообщают об отсутствии  
конфликта интересов.



## АННОТАЦИЯ

**Введение:** Обеспечение населения свежими качественными плодами в течение круглого года – это одна из базовых составляющих концепции здорового питания и приоритетное направление исследований по хранению плодов яблони. Сорт Гала пользуется круглогодичным спросом среди населения благодаря высоким потребительским качествам. Существующие технологии хранения в обычной (ОА) и регулируемой атмосфере (УЛО) обеспечивают продление сроков хранения плодов различных сортов до 5–7 месяцев, влияние динамичной регулируемой атмосферы (ДРА) на продолжительность хранения сорта Гала в России – не изучено.

**Цель:** Изучить влияние 4-х существующих (ОА-контроль, ОА+1-МЦП, УЛО-контроль, УЛО+1-МЦП) и 2-х инновационных технологий хранения плодов (ДРА-контроль, ДРА+1-МЦП) на лежкоспособность плодов яблони сорта Гала для разработки системы круглогодичного хранения плодов.

**Материалы и методы:** Объектом исследования служили плоды яблони сорта Гала, часть плодов обрабатывали 1-МЦП, контрольные и обработанные партии хранили в условиях ОА, УЛО и ДРА, определяли этилен, твердость, потери от заболеваний и повреждений и др.

**Результаты:** Низкий уровень кислорода в атмосфере хранения УЛО и ДРА существенно снижает метаболизм плодов, продлевает сроки хранения при достаточном уровне сохранения качества (твердости), обеспечивает снижение потерь, либо ингибирование развития многих физиологических заболеваний, в т.ч. подкожной пятнистости, по сравнению с условиями хранения в ОА. Условия ДРА обеспечивают продление сроков хранения на 2–3 месяца, по сравнению с УЛО, технология может быть использована при органическом производстве. Технология ДРА+1-МЦП обеспечивает продление сроков хранения до 10 месяцев и более.

**Выводы:** Дифференцированное использование 6 различных технологий хранения (ОА-контроль, ОА+1-МЦП, УЛО-контроль, УЛО+1-МЦП, ДРА-контроль, ДРА+1-МЦП) определяет возможность обеспечения регулярных поставок плодов сорта Гала в торговые сети на протяжении 10 месяцев и более.

## КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

плоды яблони; Гала; 1-МЦП; ОА; УЛО; ДРА; метаболизм; твердость; физиологические заболевания

# Complex of Technologies for Long-Term Storage of Gala Apples

Federal Scientific Center named after I.V. Michurin, Michurinsk, Russian Federation

Vladimir A. Gudkovskiy, Lyudmila V. Kozhina, Yuri B. Nazarov, Alena V. Sutormina

## CORRESPONDENCE:

**Vladimir A. Gudkovskiy**

E-mail: gudkovskiy37@mail.ru

## DATA AVAILABILITY:

Data from the current study are available upon request from the corresponding author.

## FOR CITATIONS:

Gudkovskiy, V.A., Kozhina, L.V., Nazarov, Yu.B., & Sutormina, A.V. (2024). Complex of technologies for long-term storage of gala apples. *Storage and Processing of Farm Products*, 32(2), 133-146. <https://doi.org/10.36107/spfp.2024.2.495>

**RECEIVED:** 19.11.2023

**REVISED:** 03.04.2024

**ACCEPTED:** 15.06.2024

**PUBLISHED:** 30.06.2024

## DECLARATION OF COMPETING

**INTEREST:** none declared.



## ABSTRACT

**Introduction:** High-quality fresh fruits all year round is one of the basic components of the concept of healthy nutrition and a priority area of research on the storage of apple fruits. Apple fruits cv. Gala are in year-round demand among the population due to its high consumer qualities. Existing storage technologies in regular (RA) and controlled (ULO) atmosphere provide an extension of storage time of fruits of various cultivars up to 5–7 months; the influence of a dynamic controlled atmosphere (DCA) on the duration of storage of apple fruits cv. Gala has not been studied in Russia.

**Purpose:** To study the influence of 4 existing (RA-control, RA+1-MCP, ULO-control, ULO+1-MCP) and 2 innovative fruit storage technologies (DCA-control, DCA+1-MCP) on the storability of apple fruits cv. Gala to develop a system for year-round fruit storage.

**Materials and Methods:** The apple fruits cv. Gala were the object of the study; some of the fruits were treated with 1-MCP, control and treated lots were stored under RA, ULO and DCA conditions; ethylene content, fruit firmness, losses from diseases, etc. were determined.

**Results:** A low level of oxygen in the storage atmosphere of ULO and DCA significantly reduces the metabolism of fruits, extends storage period with a sufficient level of quality preservation (firmness), reduces or inhibits losses from many physiological diseases, including bitter pit, compared with RA storage conditions. DCA conditions provide an extension of storage duration by 2–3 months, compared to ULO; the technology can be used in organic production. The DCA+1-MCP technology ensures an extension of effective storage period to 10 months or more.

**Conclusion:** The differentiated use of 6 different storage technologies (RA, RA+1-MCP, ULO, ULO+1-MCP, DCA, DCA+1-MCP) determines the possibility of ensuring regular supplies of apple fruits cv. Gala to retail chains throughout 10 months or more.

## KEYWORDS

apple fruits; Gala; 1-MCP; RA; ULO; DCA; metabolism; fruit firmness; physiological diseases

## ВВЕДЕНИЕ

Яблоня (*Malus × domestica Borkh.*) относится к числу самых распространенных плодовых культур в мире. Более 63 стран производят яблоки в широком спектре условий выращивания с использованием большого количества сортов (Forsline et al., 2003; Mditshwa et al., 2018). Плоды яблони являются богатым источником витаминов, антиоксидантов, минеральных веществ и других БАВ (Musacchi & Serra, 2018; Thewes et al., 2015, 2018), в связи с чем занимают важное место в рационе питания человека. Обеспечение населения свежими качественными плодами в течение круглого года — это одна из базовых составляющих концепции здорового питания. В связи с этим формирование системы производства, хранения и доведения до потребителя высококачественной плодовой продукции является стратегически важной задачей отрасли садоводства.

Государственная поддержка развития садоводства, а также природно-климатические условия Центрального, Южного и Северо-Кавказского федерального округа (ЦФО, ЮФО и СКФО) позволяют выращивать лучшие сорта яблони мировой коллекции с высоким уровнем качества, что обеспечивает равнозначное импортозамещение продукции на рынках РФ, спрос на которую обусловлен постоянной потребностью населения в свежих высококачественных плодах (Гудковский и соавт., 2019b, 2020a). Одним из таких сортов является промышленный сорт Гала и его клоны, пользующиеся круглогодичным спросом среди потребителей благодаря высоким вкусовым и ароматическим качествам, окраске и консистенции плодов (Both et al., 2017; Thewes et al., 2015, 2019). Плоды данного сорта отечественного производства вполне конкурентоспособны и не уступают импортным плодам по окраске, калибру, вкусовым и ароматическим свойствам. Тем не менее, при хранении плодов сорта Гала производители часто сталкиваются с проблемой ограничения сроков хранения продукции (5–6 месяцев) из-за потери качества (снижения твердости, мучнистости), побурения мякоти, подкожной пятнистости, увядания, маслянистости кожицы, растрескивания, грибной гнили в области плодоножки и др. (Argenta et al., 2023; de Freitas & Mitcham, 2012; de Freitas & Pareek, 2019), что обуславливает актуальность совершенствования существующих и разработки новых интеллектуальных технологий хранения плодов сорта Гала.

Разработкой прогрессивных методов хранения плодов, ягод и других культур уже более 40 лет занимаются ученые Федерального научного центра И.В. Мичурина. За этот период выявлены причины развития основных физиологических заболеваний плодов при хранении (загар, подкожная пятнистость, низкотемпературные заболевания, внешние и внутренние  $\text{CO}_2$  повреждения и др.) и разработан комплекс мер борьбы с ними, разработаны высокоточные условия хранения в обычной и регулируемой атмосфере с ультранизким содержанием кислорода (1,0–1,5%) для плодов более 50 сортов яблони, что позволило значительно сократить потери и продлить сроки хранения (Гудковский и соавт., 2019b, 2020a). В настоящее время наиболее эффективной и широко внедренной в производство технологией является хранение плодов яблони в регулируемой атмосфере с ультранизким содержанием кислорода (УЛО) в сочетании с послеуборочной обработкой ингибитором этилена 1-МЦП.

Данная технология, разработанная учеными ФНЦ им. И.В. Мичурина совместно с сотрудниками ООО «Фитомаг-Интер», успешно применяется во многих крупных садоводческих предприятиях России, Молдавии, Казахстана, Азербайджана, Белоруссии, позволяя эффективно хранить плоды многих зимних сортов яблони в течение 6–9 месяцев. Однако технология УЛО+1-МЦП не исключает риски развития физиологических заболеваний при хранении, в частности не гарантирует защиту от подкожной пятнистости, загара и других заболеваний у отдельных сортов и партий. Кроме того, послеуборочная обработка плодов 1-МЦП может усиливать развитие диффузного побурения кожицы, внешних и внутренних  $\text{CO}_2$ -повреждений, низкотемпературного разложения и др. (DeEll et al., 2022; DeLong et al., 2004; de Freitas & Pareek, 2019; Mattheis et al., 2017; Saltveit, 2003; Tran et al., 2015).

В последнее время многообещающие перспективы для длительного хранения приобретает принципиально новая технология, получившая название динамичная регулируемая атмосфера (ДРА). Хранение в ДРА, в отличие от статической системы УЛО, нацелено на снижение кислорода до минимально допустимого для плодов уровня (без нарушения обменных процессов, приводящих к развитию опосредованных повреждений), динамически адаптируя его концентрацию на основе меняющейся физиологической реакции плодов (Bessemans et al.,

2016; Gasser et al., 2010; Prange et al., 2011; Schultz et al., 2023; Weber et al., 2020). Технология хранения в ДРА способствует лучшему сохранению качества продукции, позволяет минимизировать, а иногда и практически исключать развитие физиологических расстройств при хранении (поверхностный загар, подкожная пятнистость и др.). Особый интерес ДРА представляет в качестве альтернативы химической обработке плодов 1-МЦП (Prange et al., 2011, 2013), поскольку современные тенденции в области потребления свежей плодоовощной продукции диктуют необходимость исключения (при органическом производстве), либо минимизации химической нагрузки на плоды в послеуборочный период.

Цель текущего исследования — изучить влияние 4-х существующих (ОА-контроль, ОА+1-МЦП, УЛО-контроль, УЛО+1-МЦП) и 2-х инновационных технологий хранения плодов (ДРА-контроль, ДРА+1-МЦП) на лежкоспособность плодов яблони сорта Гала для разработки системы круглогодичного хранения плодов.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

### Объекты исследования

Плоды яблони сорта Гала.

### Материалы

Для исследований использовали плоды промышленных насаждений ООО «Сады Ставрополя» (Ставропольский край), 2018 года посадки, подвой М-9 (карлик), схема посадки 4x1 м, сплошное залужение междурядий, капельное орошение, почвы — чернозем южный, легкосуглинистый.

При съеме 24.08.2021 твердость плодов составляла 8,7 кг/см<sup>2</sup>, индекс йодкрахмальной пробы (ЙКП) — 6,1 балл, эндогенный этилен — 2,6 ppm, сумма среднесуточных температур в предуборочный период (август) составляла 747,1 °С, количество осадков — 94,3 мм, ГТК = 1,26. При съеме 18.08.2022 и 25.08.2022 гг. твердость плодов составляла 9,2 и 7,4 кг/см<sup>2</sup>, индекс ЙКП — 5,7 и 7,1 балл, эндогенный этилен — 1,0 и 33,5 ppm, соответственно, сумма среднесуточных температур в предуборочный период (август) составляла 756,4 °С, количество осадков — 26,3 мм, ГТК = 0,35.

### Оборудование

Хранение плодов осуществляли в лабораторном комплексе, созданном ФГБНУ «ФНЦ им. И.В. Мичурина» совместно с PLAWI «Plattenhardt+WirthGmbH» (Германия) и её дочерней компанией «ПЛАВИ-Сервис» (Россия), с экспериментальными камерами объемом 0,9 м<sup>3</sup>, возможностью автоматического управления и контроля параметров в каждой камере (Система «ПЛАВИ-Сервис», 2020 г). Система «ПЛАВИ-Сервис» включает устройство для охлаждения УУ-УВ-С-VZH028G-B1W1C1(1S)G1(1T), генератор азота UP1-4, адсорбер CO<sub>2</sub> — USC20, шкаф управления, программное обеспечение. Для обеспечения ДРА использовали датчики флуоресценции хлорофилла (ДРА<sup>CF</sup>, BESSELING GROUP, Нидерланды).

Содержание этилена в тканях плода (эндогенный) — определяли на газовом хроматографе с пламенно-ионизационным детектором (GC-2014, SHIMADZU, Япония).

Содержание α-фарнезена и продуктов его окисления (КТ<sub>281</sub>) в кутикуле кожицы плодов — определяли на спектрофотометре (UV-1800, SHIMADZU, 2018 г., Япония).

Твердость плодов, кг/см<sup>2</sup> — измеряли пенетрометром FT-327, 2014 г, Италия.

### Инструменты

Статистическую обработку экспериментальных данных проводили с использованием метода дисперсионного анализа (Доспехов, 1979).

### Методы

Содержание эндогенного этилена, ppm — определяли газохроматографически (Ракитин, 1986, с. 403–413). Извлечение этилена из атмосферы межклетников плодов проводили при разрежении около 650 мм рт. ст. в течение 1 мин., используя специальное устройство (Ракитин, 1986, с. 403–413), образец газа вводили в хроматограф.

Содержание α-фарнезена и продуктов его окисления (КТ<sub>281</sub>) в кутикуле кожицы плодов, нмоль/см<sup>2</sup> — определяли в свежих полосках кожицы теневой

стороны плода. Диски кожицы известной площади погружали в гексан на 6 мин. Спектры поглощения гексановых экстрактов регистрировали на спектрофотометре (Морозова, 1980, с. 107–112).

Твердость плодов, кг — измеряли пенетрометром FT-327 с 11 мм плунжером для яблок. С противоположенных сторон экваториальной области 10 плодов после снятия кожуры проводилось два измерения.

Индекс ЙКП определяли визуально на поперечном срезе 10 плодов по 10-бальной шкале после погружения половинок в раствор Люголя<sup>1</sup>.

Физиологические заболевания определяли визуально, потери выражали в процентах от общего числа плодов.

## Процедура исследования

После съема (ООО «Сады Ставрополя», Ставропольский край) плоды сорта Гала в течении 3 ч загружали в авторефрижератор, за 20–24 ч при  $T = +10...12^{\circ}\text{C}$  доставляли в ФГБНУ «ФНЦ им. И.В. Мичурина», г. Мичуринск. Обработку части плодов ингибитором биосинтеза этилена 1-МЦП (препарат Фитомаг, Россия) проводили на 2 день после съема, концентрация действующего вещества в атмосфере составляла 0,8 ppm, продолжительность обработки — 24 ч.

На 3 день после съема контрольные и обработанные партии плодов размещали в камеры с различными условиями хранения (варианты опыта):

- (1) Контроль (плоды без обработки 1-МЦП), хранение плодов в условиях обычной атмосферы ( $T = +1^{\circ}\text{C}$ ,  $\text{CO}_2 = 0,03\%$ ,  $\text{O}_2 = 21\%$ ) — К + ОА;
- (2) Обработка 1-МЦП, хранение плодов в условиях обычной атмосферы ( $T = +1^{\circ}\text{C}$ ,  $\text{CO}_2 = 0,03\%$ ,  $\text{O}_2 = 21\%$ ) — О + ОА;
- (3) Контроль, хранение плодов в условиях регулируемой атмосферы ( $T = +1^{\circ}\text{C}$ ,  $\text{O}_2 = 1,2\%$ ,  $\text{CO}_2 = 0,8-1\%$ ) — К + УЛО;
- (4) Обработка 1-МЦП, хранение плодов в условиях регулируемой атмосферы ( $T = +1^{\circ}\text{C}$ ,  $\text{O}_2 = 1,2\%$ ,  $\text{CO}_2 = 0,8-1\%$ ) — О + УЛО;
- (5) Контроль, хранение плодов в условиях динамичной регулируемой атмосферы ( $T = +1^{\circ}\text{C}$ ,  $\text{O}_2 < 1\%$ ,  $\text{CO}_2 = 0,8-1\%$ ) — К + ДРА;

- (6) Обработка 1-МЦП, хранение плодов в условиях динамичной регулируемой атмосферы ( $T = +1^{\circ}\text{C}$ ,  $\text{O}_2 < 1\%$ ,  $\text{CO}_2 = 0,8-1\%$ ) — О + ДРА.

На хранение по каждому варианту закладывали по 4 ящика плодов массой 10–11 кг.

Влияние условий хранения на качество плодов оценивали по твердости мякоти, содержанию этилена,  $\alpha$ -фарнезена и продуктов его окисления ( $\text{KT}_{281}$ ), потерям от физиологических и грибных заболеваний.

Показатели оценки физиологического состояния плодов определяли при съеме, в процессе хранения (4–5 месяцев), после окончания хранения (8–9 месяцев хранения), при доведении до потребителя (жизнь на полке) в условиях  $+20^{\circ}\text{C}/10$  дней, индекс ЙКП — при съеме.

Потери от подкожной пятнистости (ПП), коричневой пятнистости, гнили в области плодоножки и др. определяли при хранении (4–5 месяцев), после 8–9 месяцев хранения, при доведении до потребителя ( $+20^{\circ}\text{C}/10$  дней).

## Анализ данных

Для оценки различий влияния условий хранения на показатели качества использовали статистическую обработку экспериментальных данных с использованием метода оценки разности между средними по наименьшей существенной разности (НСР) при 5% уровне значимости (Доспехов, 1979).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Гала — сорт осеннего срока созревания (2–3 декада августа — 1 декада сентября). Выведен в Новой Зеландии путём скрещивания сортов Kidd's Orange X Golden Delicious. Мякоть плодов светло-желтая, хрустящая, сочная ароматная, кисло-сладкого вкуса, кожица тонкая. Из-за высокого коммерческого спроса получает распространение в ЮФО и ЦФО РФ. Существует множество клонов сорта: Гала Шнига, Гала Мемо, Mondial Gala, Royal Gala, Gala Galaxy,

<sup>1</sup> Generic Starch-Iodine Index Chart for Apples [Электронный ресурс]. <https://blog-fruit-vegetable-ipm.extension.umn.edu/2018/08/check-apple-ripeness-with-starch-iodine.html>

Jugala, Annaglo, Galaval, Gala Must и др., которые отличаются сроками созревания, оттенками вкуса, окраской плодов и др. Селекционеры время от времени предлагают новые клоны, более интересные с позиции маркетинга.

Снижение качества плодов сорта Гала связано с потерей твердости, появлением мучнистости, увяданием, подкожной пятнистостью, растрескиванием и загниванием плодов в области плодоножки, внутренним побурением, распадом от старения и др. (Argenta et al., 2023; de Freitas & Pareek, 2019), аналогичные данные получены и в наших исследованиях.

### ОА-контроль

Известно, что в условиях ОА-контроль единственным фактором, способствующим снижению интенсивности дыхания, является пониженная температура (Гудковский, 1978; Гудковский и соавт., 2019b; Thompson et al., 2018), которая обеспечивает продление сроков хранения при сохранении качества на ограниченном временном интервале, зависящем прежде всего от генотипа сорта и других предуборочных факторов. Чаще всего минимальными сроками хранения в ОА отличаются плоды летних (от нескольких недель до 3–4 месяцев), а максимальными (до 4–8 месяцев) — зимних сортов яблони (Франчук, 1986).

На примере плодов осеннего сорта Гала урожая 2021 и 2022 гг. показано, что низкая температура (+1 °С) при обычном составе атмосферы хранения ( $O_2 = 21\%$ ,  $CO_2 = 0,03\%$ ) не обеспечивала значимого и пролонгированного ингибирования метаболизма плодов, что проявлялось уже в течение первых 4–5 месяцев хранения в накоплении эндогенного этилена до 230–490 ppm (в зависимости от партии), сопровождалось снижением твердости плодов при хранении, и, в большей степени в условиях доведения до потребителя (+20 °С/7–10 дней) — до  $\leq 5 \text{ кг см}^2$ , что способствовало снижению дегустационной оценки продукции и ограничивало возможность реализации партий сорта Гала в торговых сетях (Таблицы 1, 2). Вероятно, высокий уровень кислорода (21%), необходимый для биосинтеза этилена (от 1-аминоциклопропан-1-карбоновой кислоты к этилену) способствовал активному накоплению гормона в плодах (Adams & Yang, 1979) и опосредованным процессам их созревания и старения.

Проблемой сорта Гала в годы с большим количеством осадков, высокой влажностью воздуха, резкими перепадами влажности воздуха и почвы в предуборочный период является растрескивание плодов в области плодоножки, что отмечается как нашими, так и зарубежными исследователями и практиками (de Freitas & Pareek, 2019). Развитие повреждения обусловлено интенсивным увеличением клеток

Таблица 1

Влияние условий и сроков хранения на биохимические и другие показатели качества плодов сорта Гала (2021 г.)

Условия хранения	Твердость кг/см <sup>2</sup>	Этилен, ppm	$\alpha$ -фарнезен нмоль/см <sup>2</sup>	КТ <sub>281</sub>	Гниль у плодоножки/ всего, %	ПП, %	Коричневая пятни- стость, %
5 месяцев хранения							
Контроль ОА	7,0/6,1	244,7	3,8	0,7	12,3/13,7	0	0
1-МЦП + ОА	7,4/7,1	2,5	3,1	0,5	13,9/13,9	0	2,8
НСР <sub>05</sub>	0,3/0,4	28,2	1,2	0,4	-	-	-
9 месяцев хранения							
Контроль ОА	6,6/4,0	152,5	8,2	6,7	11,7/24,7	0	0
1-МЦП + ОА	7,3/6,0	13,2	9,0	4,5	15,5/23,0	0	2,8
Контроль УЛО	7,3/5,5	1,9	12,4	2,3	1,8/4,3	0	0
1-МЦП + УЛО	7,8/7,4	0,4	6,3	1,3	4,5/5,2	0	0
Контроль ДРА	7,5/7,2	0,9	7,7	1,2	3,1/5,1	0	0
1-МЦП + ДРА	8,0/7,5	0,3	7,9	1,2	2,5/4,0	0	0
НСР <sub>05</sub>	0,4/0,4	18,4	2,8	0,6	-	-	-

Примечание. \* значение показателя при хранении/значение показателя после 10 дней при +20 °С.  
ПП — подкожная пятнистость.

подкожного слоя при ограниченных возможностях растяжения клеток кожицы. В условиях ОА высокий уровень метаболизма (Гудковский и соавт., 2019b; Thompson et al., 2018), а значит, и темпы старения плодов способствуют разрушению клеточной структуры, ослабляют устойчивость к грибной инфекции, особенно в местах разрыва тканей. В результате возможен высокий уровень потерь от гнили в области плодоножки, усугубляет проблему избыточное увлажнение в предуборочный период (Гудковский, 1978; Дементьева & Выгонский, 1988; Кудряшова, 1986). Так, на плодах сорта Гала урожая 2021 г., когда количество осадков в предуборочный период (август) составило 94,3 мм, ГТК = 1,26 (Ставропольский край, Ставрополье), что соответствовало избыточному увлажнению, потери от гнили в области плодоножки через 4–5 месяцев хранения достигали 12,3%, в годы с ГТК = 0,35 (2022 г.) потери от таких заболева-

ний отмечались на единичных плодах, не превышали 2% (Таблицы 1, 2).

Неоправданное продление сроков хранения (до 9 месяцев) сорта Гала в условиях ОА-контроль увеличивает общие потери от грибных заболеваний: существенно в 2022 г., критично — в 2021 г. (до 3,8 и 24,7% соответственно) при низких значениях твердости, что указывает на необходимость ограничения сроков хранения продукции.

Особенностью сорта Гала является возможность сильного увядания плодов, которое чаще всего начинается в области плодоножки, наиболее активно проявляется в ОА (до 50% и более, степень проявления от слабой до высокой) уже через 3–5 месяцев хранения, что резко снижает товарное качество продукции. По всей вероятности, развитию расстрой-

Таблица 2

Влияние условий и сроков хранения на биохимические и другие показатели качества плодов сорта Гала (2022 г.)

Условия хранения	Твердость кг/см <sup>2</sup>	Этилен, ppm	$\alpha$ -фарнезен нмоль/см <sup>2</sup>	КТ <sub>281</sub>	Гниль у пло- до-ножки/всего, %	ПП, %	Коричневая пятнистость %
Гала Шнига (ЮФО), д.с. 18.08.22. 4 месяца хранения							
Контроль ОА	5,0/4,7	491,6	29,3	4,3	0/0,5	5,8	0
1-МЦП + ОА	6,8/6,4	8,5	16,2	4,2	0/1,2	1,2	6,1
НСР <sub>05</sub>	0,4/0,4	56,2	12,4	0,2	-	-	-
9 месяцев хранения							
Контроль ОА	4,8/4,5	340,3	16,2	5,5	0,2/1,0	7,0	0
1-МЦП + ОА	6,8/6,0	80,9	16,9	5,1	0,3/4,0	1,2	6,1
Контроль УЛО	6,8/6,0	32,6	15,1	3,0	0,4/1,0	0	0
1-МЦП + УЛО	7,3/7,3	0,65	3,5	0,5	0,7/0,7	0	0
Контроль ДРА	7,3/7,3	0,1	4,9	0,7	0,3/1,1	0,2	0
1-МЦП + ДРА	7,6/7,6	0,04	3,0	0,5	0/0,7	0	0,3
НСР <sub>05</sub>	0,2/0,4	24,6	4,8	0,2	-	-	-
Гала Мемо (ЮФО), д.с. 25.08.22. 4 месяца хранения							
Контроль ОА	5,3/4,5	229,5	25,3	6,1	0/1,2	3,1	0
1-МЦП + ОА	6,0/5,8	5,9	18,2	8,3	0/1,8	1,2	2,6
НСР <sub>05</sub>	0,4/0,4	86,4	6,2	0,6	-	-	-
9 месяцев хранения							
Контроль ОА	4,8/4,2	108,3	18,4	8,1	1,0/3,8	5,1	0
1-МЦП + ОА	5,9/5,5	14,5	12,3	7,6	1,5/4,8	0	3,2
Контроль УЛО	6,0/5,7	9,7	9,4	1,7	1,3/1,3	0	0
1-МЦП + УЛО	6,2/6,0	0,7	5,9	1,4	0,6/0,9	0	0
Контроль ДРА	6,5/6,2	0,3	6,7	1,4	0,4/0,8	0	0
1-МЦП + ДРА	6,9/6,4	0,2	6,0	1,1	0,6/1,1	0	0
НСР <sub>05</sub>	0,4/0,4	56,2	1,2	0,4	-	-	-

Примечание. \* значение показателя при хранении/значение показателя после 10 дней при +20 °С.  
ПП – подкожная пятнистость.

ства (потери плодами влаги) способствуют высокая интенсивность дыхания и созревания плодов сорта Гала в условиях ОА. Очевидно, что особенности анатомо-морфологического строения кожицы плодов изучаемого сорта, условия ОА с активным воздухообменом, пониженная влажность воздуха способствуют увяданию (Fernández et al., 2016; Paull, 1999). Оптимизация послеуборочных факторов может существенно снизить остроту проблемы.

В результате проведенных исследований при хранении плодов сорта Гала, выращенных в ЮФО РФ (Ставропольский край), выявлены потери от подкожной пятнистости (ПП), поражение плодов заболеванием отмечают исследователи в европейских странах, США, Австралии и др. (Argenta et al., 2023; de Freitas & Mitcham, 2012; de Freitas & Pareek, 2019; Thewes et al., 2015). Восприимчивость плодов к подкожной пятнистости определяется генотипом сорта, зависит от комплекса предуборочных факторов (биологических, экологических, агротехнических) и их сочетания (Гудковский и соавт., 2019а; de Freitas & Mitcham, 2012; de Freitas & Pareek, 2019).

Из изученных нами партий устойчивость к заболеванию проявляли плоды урожая 2021 г., восприимчивостью к заболеванию отличались плоды урожая 2022 г., что обусловлено погодными условиями предуборочного периода. Вероятно, дефицит влаги и высокие температуры воздуха августа 2022 г. могли спровоцировать появление воздушной засухи, что способствует оттоку Са из плодов в листья и формированию локального дефицита элемента в плодах чаще всего в области чашечки и до экватора (de Freitas & Mitcham, 2012; de Freitas & Pareek, 2019). Воздействие факторов хранения в условиях ОА, способствующих потере влаги и снижению содержания Са в клетках подкожного слоя (активный воздухообмен, пониженная влажность воздуха), увеличивали риски развития расстройства, особенно в восприимчивых партиях, что подтверждают и другие исследователи (Fernández et al., 2016; Paull, 1999). При этом решающим фактором, инициирующим появление окисленных бурых пятен подкожной пятнистости в участках плода с низким адаптационным потенциалом, является высокий уровень кислорода (21%) в атмосфере хранения, который является сильным окислителем и способствует активному протеканию окислительных процессов (Meitha et al., 2020).

Следует отметить, что чаще всего потери от заболевания выше в партиях плодов ранних сроков съема, с пониженным содержанием антиоксидантов — соединений, уровень содержания которых оказывает существенное влияние на восприимчивость к ПП (Гудковский и соавт., 2019а; de Freitas & Mitcham, 2012; de Freitas & Pareek, 2019). При съеме 18.08.2022 (ЙКП = 5,7 балла, этилен = 1,0 ppm, твердость 9,2 кг/см<sup>2</sup>) и 25.08.2023 (ЙКП = 7,5 балла, этилен = 33,5 ppm, твердость 7,4 кг/см<sup>2</sup>) потери от заболевания через 4 месяца хранения в условиях ОА-контроль составляли 5,8 и 2,5 %, соответственно (см. таблицы 1, 2). При дальнейшем хранении возможно незначительное увеличение потерь от ПП, степени проявления расстройства, возможно появление разложения от старения, что часто проявляется на плодах с ПП. Оба заболевания связаны с дефицитом Са (de Freitas & Mitcham, 2012; de Freitas & Pareek, 2019) и локализируются в области чашечки, характеризующейся минимальным содержанием элемента, в продвинутой стадии разложение распространяется по всему плоду.

Было установлено, что неоправданное увеличение продолжительности хранения плодов сорта Гала (до 8 и более месяцев) наряду со снижением органолептических характеристик плодов может вызвать побурение мякоти от старения.

Таким образом, в условиях ОА-контроль (O<sub>2</sub> = 21 %) активный, мало контролируемый метаболизм плодов способствует увеличению рисков потери твердости, поражению грибной гнилью в области плодоножки, увяданию плодов, максимальному поражению подкожной пятнистостью, побурению мякоти, что ограничивает эффективный срок хранения до 3 месяцев.

## ОА+1-МЦП

Послеуборочная обработка плодов 1-метилциклопропеном ингибирует созревание, обеспечивает защиту от загара, сохранение твердости и др. (Гудковский и соавт., 2019b; de Freitas & Mitcham, 2012; de Freitas & Pareek, 2019; Lurie & Watkins, 2012), возможные положительные и отрицательные проявления обработки зависят от генотипа сорта и комплекса предуборочных факторов, что требует изучения.

В наших исследованиях в условиях ОА+1-МЦП ингибирование созревания вследствие обработки отразилось в низком уровне накопления этилена в плодах сорта Гала изучаемых партий. После 4–5 месяцев хранения плодов содержание показателя не превышало 10 ppm, что способствовало сохранению твердости (в пределах 6–7 кг/см<sup>2</sup>) и других органолептических свойств плодов, по сравнению с ОА-контроль.

Обработка 1-МЦП не оказывала значимого влияния на развитие гнили по растрескиванию плодов в области плодоножки, потери от заболевания сравнимы с ОА-контроль (12,3 и 13,9%, соответственно) и, вероятно, обусловлены разрывом тканей у плодоножки, инфекционной нагрузкой на плод и отсутствием факторов, ингибирующих ее развитие.

Выявлены и негативные особенности влияния 1-МЦП на качество плодов сорта Гала. В условиях ОА обработка 1-МЦП может усилить степень проявления подкожной пятнистости: вокруг очага с ПП формируется сухое, темно-коричневое, слегка вдавленное пятно как на интенсивно окрашенной, так и на менее окрашенной, либо неокрашенной стороне плода (коричневая пятнистость), что либо не влияет, либо увеличивает потери от заболевания, но всегда существенно ухудшает внешний вид продукции. Аналогичные проявления обработки 1-МЦП на плодах сорта Гала отмечают и другие исследователи (de Freitas & Mitcham, 2012; de Freitas & Pareek, 2019).

В наших исследованиях максимальные потери от коричневой пятнистости (также как и от ПП) отмечены на плодах урожая 2022 г. ранних сроков съема (18.08). Потери от заболевания в контрольных и обработанных партиях составляли 0 и 6,1% соответственно, при общих потерях от ПП-опосредованных заболеваний (подкожная пятнистость + коричневая пятнистость) – 5,8 и 7,3% соответственно (таблица 2). Т.е. коричневая пятнистость в условиях ОА без обработки 1-МЦП чаще всего не встречается. Вероятно, препарат 1-МЦП, являясь химическим стрессором, усиливает влияние предуборочных и послеуборочных стресс-факторов, воздействующих на группы клеток/участки тканей плода с низким адаптационным потенциалом, что усиливает развитие ПП и проявляется в более заметных дефектах кожицы (коричневой пятнистости) по сравнению с необработанными партиями.

Очевидно, что обработка 1-МЦП в условиях ОА несколько сдерживала, но не защищала плоды сорта Гала от увядания и грибных гнилей (в том числе в области плодоножки), возможно несколько отодвигала сроки проявления заболеваний. Увеличение продолжительности хранения до 8 и более месяцев может вызвать побурение мякоти от старения.

Условия ОА+1-МЦП ( $O_2 = 21\%$ ) способствовали замедлению метаболизма, ингибированию процессов созревания и старения плодов, сохранению твердости, как на этапе хранения, так и в условиях доведения до потребителя, но не снижали потери от ПП в восприимчивых партиях (ранний срок съема, молодой сад, низкий урожай и др.), возможно увеличение потерь от коричневой пятнистости, что существенно снижает качество продукции. Сроки эффективного хранения партий плодов, устойчивых к ПП, составляют до 5 месяцев, для восприимчивых к заболеванию партий целесообразна максимально быстрая реализация продукции.

## УЛО-контроль

Низкий уровень  $O_2$  в условиях УЛО (1,2%) снижает интенсивность дыхания и выработку этилена, поддерживая качество и продлевая срок хранения климактерических плодов (Both et al., 2017), обеспечивает снижение потерь от подкожной пятнистости (Гудковский и соавт., 2019a, 2020b; de Freitas & Mitcham, 2012; de Freitas & Pareek, 2019). Высокий уровень  $CO_2$  ингибирует интенсивность дыхания, а также синтез и действие этилена, сдерживая созревание и старение плодов (Alsmairat et al., 2011; de Freitas & Pareek, 2019; Thompson et al., 2018). При этом каждый сорт отличается реакцией на воздействие различных уровней  $O_2$  и  $CO_2$ , что требует проведения целенаправленных исследований.

В нашем эксперименте, на протяжении длительного периода (9 месяцев) условия с низким содержанием кислорода в атмосфере хранения (1,2%) сдерживали накопление этилена до 10–32 ppm (в плодах урожая 2022 г.), до 1,3 ppm (в плодах урожая 2021 г.), по сравнению с ОА-контроль (>200 ppm), при твердости 6–7 кг/см<sup>2</sup> при хранении и высоких рисках ее снижения в условиях доведения до потребителя.

У плодов сорта Гала условия УЛО-контроль способствовали исключению потерь от ПП (0%), кратному снижению потерь от грибных гнилей (в т.ч. в области плодоножки), по сравнению с ОА-контроль. В партии от 24.08.2021 г. потери от микробиологических заболеваний составляли 1,8 и 24,7% соответственно, что, вероятно, обусловлено сохранением клеточной структуры и сдерживанием развития гнили при низкокислородном хранении (Гудковский и соавт., 2020а; de Freitas & Pareek, 2019). Неоправданное увеличение продолжительности хранения плодов сорта Гала (до 8 и более месяцев) наряду со снижением органолептических характеристик плодов может вызвать побурение мякоти от старения.

Риски снижения твердости, других органолептических характеристик плода (вкус, сочность, свежесть), появления побурения мякоти при хранении и доведении до потребителя ограничивают эффективные сроки хранения плодов в условиях УЛО-контроль до 5–6 месяцев.

## УЛО+1-МЦП

Технология хранения плодов в условиях УЛО+1-МЦП является наиболее распространенной, обеспечивает защиту от загара, сохранение твердости и продление сроков хранения многих сортов яблони, возможно проявление индивидуальных реакций (DeEll et al., 2022; DeLong et al., 2004; de Freitas & Pareek, 2019; Mattheis et al., 2017; Saltveit, 2003; Tran et al., 2015;), что требует последовательного изучения.

В наших исследованиях послеуборочная обработка 1-МЦП усиливала ингибирующее влияние низкокислородного хранения ( $O_2 = 1,2\%$ ) на созревание плодов осеннего сорта Гала, что проявилось после 9 месяцев хранения в очень низком содержании этилена (до 1 ppm) и высокой (для сорта) твердости ( $> 6-7 \text{ кг/см}^2$ ), которая сохранялась и при доведении до потребителя.

Условия УЛО+1-МЦП не оказывали существенного влияния на развитие грибных заболеваний, потери от которых при низкокислородном хранении (УЛО, ДРА) не превышали 2%.

В условиях УЛО+1-МЦП из-за низкого уровня, либо отсутствия потерь от ПП в изучаемых партиях потери от коричневой пятнистости не обнаружены.

Основным преимуществом технологии УЛО+1-МЦП является несколько более высокий уровень сохранения твердости при хранении и более значимый — при доведении до потребителя, по сравнению с УЛО-контроль. Значение показателя в партии плодов от 24.08.2021 г. через 9 месяцев хранения составляло 7,8 и 7,3 кг/см<sup>2</sup>, при доведении до потребителя — 7,4 и 5,5 кг/см<sup>2</sup>. Аналогичные тенденции прослеживались в большинстве изучаемых партий сорта Гала. Однако, в партии плодов с продвинутой степенью зрелости (25.08.2022 г.) в условиях УЛО+1-МЦП твердость плодов при хранении находилась в пределах 6 кг/см<sup>2</sup>, что чаще всего сопровождалось низкой дегустационной оценкой и ограничивало возможность реализации партии через торговые сети, что подтверждает целесообразность длительного хранения плодов, снятых в оптимальные сроки.

Таким образом, условия УЛО+1-МЦП ( $O_2 = 1,2\%$ ) обеспечивали минимизацию/исключение потерь от подкожной пятнистости, снижение потерь от грибных гнилей (в т.ч. в области плодоножки), высокий уровень сохранения твердости при хранении и доведении до потребителя, сохранение других качественных характеристик плодов оптимального срока съема в течение 8 месяцев и более.

## ДРА-контроль

Появление в последнее десятилетие новой технологии хранения плодов в условиях ДРА с минимально допустимым содержанием кислорода придало импульс к проведению исследований по выявлению ее влияния на качество и продолжительность хранения плодов (Bessemans et al., 2016; Gasser et al., 2010; Prange et al., 2011, 2013; Schultz et al., 2023; Weber et al., 2020 и др.).

По данным зарубежных исследователей ДРА-технология максимально ингибирует интенсивность дыхания и созревания, обеспечивает высокий уровень сохранения качества и продление сроков хранения плодов многих сортов яблони, возможно развитие опосредованных повреждений (Bessemans et al., 2016; de Freitas & Pareek, 2019; Prange et al., 2011, 2013; Weber et al., 2020). Исследования по изучению влияния ДРА-контроль, ДРА+1-МЦП на лежкоспособность плодов сорта Гала в России проводятся впервые.

Было показано, что низкокислородное хранение в ДРА ( $O_2 < 1\%$ ) минимизировало накопление этилена в плодах сорта Гала всех изучаемых партий раннего и позднего сроков съема урожая 2021 и 2022 гг. Содержание показателя после 9 месяцев хранения составляло не более 0,9 ppm, что сопоставимо, либо несколько ниже по сравнению с УЛО+1-МЦП, значительно ниже по сравнению с УЛО-контроль. Ингибирование метаболизма плодов и стабилизация физиологического состояния на этом уровне обеспечивали сравнимый с УЛО+1-МЦП, но более высокий по сравнению с УЛО-контроль уровень сохранения твердости и высокую дегустационную оценку плодов сорта Гала при хранении и доведении до потребителя.

Низкокислородное хранение (УЛО, ДРА) обеспечивало исключение, либо минимизацию потерь от ПП (0,4 %) по сравнению с ОА (Таблицы 1, 2), что, вероятно, связано с ингибированием реакций свободно-радикального окисления в условиях ДРА и повышением уровня некоторых анаэробных метаболитов (этанол и др.), сдерживающих развитие расстройства (Mattheis et al., 2017).

Увеличение продолжительности хранения в условиях ДРА-контроль до 11 и более месяцев может вызвать побурение мякоти от старения.

Условия ДРА-контроль ингибировали развитие грибных заболеваний (за счет сохранения клеточной структуры и ее устойчивости к проникновению инфекции), потери от которых при низкокислородном хранении (УЛО, ДРА) не превышали 2 %.

Важным дополнительным активом технологии ДРА-контроль по сравнению с УЛО+1-МЦП при сопоставимых биохимических и качественных показателях является отсутствие химических обработок в послеуборочный период, что приветствуется потребителями, выгодно производителям (из-за более высокой цены продукта), определяет перспективность промышленного использования технологии. Эффективные сроки хранения плодов сорта Гала в условиях ДРА-контроль могут быть увеличены до 8 месяцев и более, что для осеннего сорта является большим достижением.

## ДРА+1-МЦП

Послеуборочная обработка 1-МЦП в сочетании с низкокислородным хранением ( $O_2 < 1\%$ ) обеспечила максимально глубокое ингибирование метаболизма плодов, что проявлялось в предельно низком (0,04–0,3 ppm), сравнимом с УЛО+1-МЦП и ДРА-контроль, либо более низком уровне содержания этилена после 9 месяцев хранения. Вероятно, контроль метаболизма условиями ДРА+1-МЦП обеспечил максимальный из изученных технологий уровень сохранения твердости при хранении и в условиях +20 °С/10 дней для партий сорта Гала с различной степенью зрелости при съеме, что является определенным преимуществом технологии.

В результате подавления предельно низким содержанием кислорода (условия ДРА) развития ПП единичные плоды, пораженные заболеванием (0,2 %), были обнаружены лишь в партии раннего срока съема (18.08.2022 г.), обработка 1-МЦП вызвала поражение единичных плодов коричневой пятнистостью (0,3 %), что не оказало негативного влияния на качество всей партии.

Условия низкокислородного хранения ДРА+1-МЦП ( $O_2 < 1\%$ ), как и ДРА-контроль, способствовали кратному снижению потерь от грибных гнилей (в т.ч. в области плодоножки), по сравнению с ОА+1-МЦП, при сравнимых с УЛО+1-МЦП показателях. В восприимчивой партии (от 24.08.2021 г.) потери от заболевания в условиях ДРА-1-МЦП, ДРА-контроль, УЛО+1-МЦП и ОА+1-МЦП составляли 2,5, 3,1, 4,5 и 15,5 % соответственно, что обусловлено повышением устойчивости тканей к развитию микробиологических заболеваний в условиях низкокислородного хранения.

Условия ДРА+1-МЦП в разные годы (2021–2022 гг.) даже при длительных сроках хранения (11 месяцев) у всех изученных партий обеспечивают максимальный контроль внутреннего побурения плодов.

В результате проведенных исследований было выявлено, что в условиях УЛО+1-МЦП и ДРА+1-МЦП сочетание низкого и минимально допустимого содержания кислорода соответственно, и обработки 1-МЦП, ингибирует развитие их органолептических характеристик (вкус, аромат)

по сравнению с УЛО-контроль, ДРА-контроль, что влияет на восприятие потребителем и является недостатком технологий.

Результаты исследования доказывают, что эффективные сроки хранения плодов осеннего сорта Гала в условиях ДРА+1-МЦП могут составлять 10 месяцев и более (на уровне зимних сортов), обеспечение таких условий целесообразно только для партий плодов длительного срока хранения с высокой исходной лежкоспособностью.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований было изучено влияние 4-х существующих (ОА-контроль, ОА+1-МЦП, УЛО-контроль, УЛО+1-МЦП) и 2-х инновационных технологий хранения плодов (ДРА-контроль, ДРА+1-МЦП) на лежкоспособность плодов яблони сорта Гала, выявлены их преимущества и недостатки, получены данные для разработки системы круглогодичного хранения плодов.

Установлено, что дифференцированное использование 6 различных технологий хранения определяет возможность обеспечения регулярных поставок плодов осеннего сорта Гала в торговые сети на протяжении 10 месяцев и более. Эффективные сроки хранения плодов в условиях ОА-контроль, ОА+1-МЦП, УЛО-контроль, УЛО+1-МЦП, ДРА-контроль, ДРА+1-МЦП составляют 3, 5, 5–6, >8, >8, >10 месяцев соответственно, что требует уточнения в течение нескольких сезонов.

Инициатором проведения исследований по разработке технологий хранения плодов сорта Гала в условиях ДРА-контроль, ДРА+1-МЦП является крупное садоводческое предприятие ЮФО. Предварительные испытания технологий в модельных (экспериментальных) камерах ФГБНУ ФНЦ им. И.В. Мичурина позволят избежать ошибок и обеспечат максимальный эффект при масштабировании новых технологий хранения в промышленную практику садоводческих предприятий ЮФО и ЦФО, выращивающих плоды сорта Гала и имеющих соответствующую материально-техническую базу для их хранения.

В результате проведенных исследований, кроме практической составляющей, получены новые знания о механизмах развития подкожной и коричневой пятнистости плодов сорта Гала, которые необходимы для разработки сортовых технологий, обеспечивающих исключение, либо минимизацию потерь от заболеваний.

Изучение влияния экологических, агротехнических факторов, сроков съема на качество, восприимчивость к заболеваниям плодов различных клонов сорта Гала необходимо для корректировки параметров хранения технологий ДРА-контроль, ДРА+1-МЦП и является приоритетным направлением наших дальнейших исследований.

## Благодарности

Выражаем благодарность Ширинову А.Ш. (ООО «Сады Ставрополя», Ставропольский край, ЮФО) — инициатору проведения исследований за активное участие в совместной работе, поставку плодов яблони для ее осуществления.

## АВТОРСКИЙ ВКЛАД

**Гудковский Владимир Александрович:** концептуализация; разработка модели исследования; ресурсное обеспечение; написание, рецензирование и редактирование рукописи.

**Кожина Людмила Владимировна:** разработка модели исследования; проведение исследования; верификация данных; написание, рецензирование и редактирование рукописи.

**Назаров Юрий Борисович:** проведение исследования; верификация данных; рецензирование и редактирование рукописи.

**Сутормина Алена Владимировна:** проведение исследования; верификация данных; рецензирование и редактирование рукописи.

**Давыденко Наталия Ивановна:** верификация, администрирование данных; визуализация; создание рукописи и ее редактирование.

## ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Гудковский, В. А. (1978). *Длительное хранение плодов*. Алма-Ата: Кайнар.
- Gudkovsky, V. A. (1978). *Long-term storage of fruits*. Alma-Ata: Kainar. (In Russ.)
- Гудковский, В. А., Кожица, Л. В., Балакирев, А. Е., & Назаров, Ю. Б. (2019а). Новая технология защиты плодов яблони от подкожной пятнистости и других физиологических заболеваний при хранении. *Садоводство и виноградарство*, (4), 37–44. <https://doi.org/10.31676/0235-2591-2019-4-37-44>
- Gudkovsky, V. A., Kozhina, L. V., Balakirev, A. E., & Nazarov, Yu. B. (2019a). New technology of protecting apple fruits from bitter pit and other physiological diseases during storage. *Horticulture and Viticulture*, (4), 37–44. (In Russ.) <https://doi.org/10.31676/0235-2591-2019-4-37-44>
- Гудковский, В. А., Кожица, Л. В., Гучева, Р. Б., Сутормина, А. В., & Назаров, Ю. Б. (2020а). Качество плодов районированных и перспективных сортов СКФО в условиях РА. *Вестник Мичуринского государственного аграрного университета*, 2(61), 6–13.
- Gudkovsky, V. A., Kozhina, L. V., Gucheva, R. B., Sutormina, A. V., & Nazarov, Yu. B. (2020a). Fruit quality of zoned and perspective varieties of the North Caucasian Federal District under CA conditions. *Vestnik Mîčurinskogo Gosudarstvennogo Agrarnogo Universiteta*, 2(61), 6–13. (In Russ.)
- Гудковский, В. А., Кожица, Л. В., Назаров, Ю. Б., Балакирев, А. Е., & Гучева, Р. Б. (2019б). Высокоточные технологии хранения плодов яблони — основа обеспечения их качества (достижения, задачи на перспективу). *Достижения науки и техники АПК*, 33(2), 61–67. <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2019-10215>
- Gudkovsky, V. A., Kozhina, L. V., Nazarov, Yu. B., Balakirev, A. E., & Gucheva, R. B. (2019b). High-precision technologies of storage of apple fruits is the basis for ensuring their quality: Achievements, challenges for the future. *Achievements of Science and Technology in Agribusiness*, 33(2), 61–67. (In Russ.) <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2019-10215>
- Гудковский, В. А., Кожица, Л. В., Сутормина, А. В., & Назаров, Ю. Б. (2020б). Достижения, проблемы длительного хранения плодов яблони и новые возможности их решения (обзор). *Современное состояние садоводства Российской Федерации, проблемы отрасли и пути их решения* (с. 126–140). Тамбов: ООО «ТПС».
- Gudkovsky, V. A., Kozhina, L. V., Sutormina, A. V., & Nazarov, Yu. B. (2020b). Achievements, problems of long-term storage of apple fruits and new possibilities for solving them (review). *The current state of horticulture in the Russian Federation, problems of the industry and ways to solve them* (pp. 126–140). Tambov: TPS LLC. (In Russ.)
- Дементьева, М. И., & Выгонский, М. И. (1988). *Болезни плодов, овощей и картофеля при хранении*. Москва: Агропромиздат.
- Dementieva, M. I., & Vygonsky, M. I. (1988). *Diseases of fruits, vegetables and potatoes during storage*. Moscow: Agropromizdat. (In Russ.)
- Доспехов, Б. А. (1979). *Методика полевого опыта* (изд. 4-е, перераб. и доп.). Москва: Колос.
- Dospehov, B. A. (1979). *Methodology of field experience* (4th ed., revised and supplemented). Moscow: Kolos. (In Russ.)
- Кудряшова, А. А. (1986). *Микробиологические основы сохранения плодов и овощей*. Москва: Агропромиздат.
- Kudryashova, A. A. (1986). *Microbiological basis for the preservation of fruits and vegetables*. Moscow: Agropromizdat. (In Russ.)
- Морозова, Н. П. (1980). Спектрофотометрическое определение содержания  $\alpha$ -фарнезена и продуктов его окисления в растительном материале. В *Биохимические методы* (с. 107–112). Москва: Наука.
- Morozova, N. P. (1980). Spectrophotometric determination of the content of  $\alpha$ -farnesene and its oxidation products in plant material. In *Biochemical methods* (pp. 107–112). Moscow: Science. (In Russ.)
- Ракин, В. Ю. (1986). Определение газообмена и содержания этилена, двуокиси углерода и кислорода в тканях растений. *Физиология растений*, 33(2), 403–413.
- Rakitin, V. Yu. (1986). Determination of gas exchange and ethylene, carbon dioxide and oxygen content in plant tissues. *Plant Physiology*, 33(2), 403–413. (In Russ.)
- Франчук, Е. П. (1986). *Товарные качества плодов*. Москва: Агропромиздат.
- Franchuk, E. P. (1986). *Commercial qualities of fruits*. Moscow: Agropromizdat. (In Russ.)
- Adams, D. O., & Yang, S. (1979). Ethylene biosynthesis: Identification of 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid as an intermediate in the conversion of methionine to ethylene. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 76(1), 170–174. <https://doi.org/10.1073/pnas.76.1.170>
- Alsmairat, N., Contreras, C., Hancock, J., Callow, P., & Beaudry, R. (2011). Use of combinations of commercially relevant O<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub> partial pressures to evaluate the sensitivity of nine highbush blueberry fruit cultivars to controlled atmospheres. *Horticultural Science* 46, 74–79. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.46.1.74>
- Argenta, L. C., Wood, R. M., Mattheis, J. P., Thewes, F. R., Nesi, C. N., & Neuwald, D. A. (2023). Factors affecting development of disorders expressed after storage of 'Gala' apple fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 204, 112439. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2023.112439>
- Bessemans, N., Verboven, P., Verlinden, B., & Nicolai, B. (2016). A novel type of dynamic controlled atmosphere storage based on the respiratory quotient (RQ-DCA). *Postharvest Biology and Technology*, 115, 91–102. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.12.019>
- Both, V., Thewes, F. R., Brackmann, A., de Oliveira Anese, R., de Freitas Ferreira, D., & Wagner, R. (2017). Effects of dynamic controlled atmosphere by respiratory quotient on

- some quality parameters and volatile profile of 'Royal Gala' apple after long-term storage. *Food Chemistry*, 215, 483–492. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.08.009>
- DeEll, J. R., Lum, G. B., Mostofi, Y., & Lesage, S. K. (2022). Timing of ethylene inhibition affects internal browning and quality of 'Gala' apples in long-term low oxygen storage. *Frontiers in Plant Science*, 13, 914441. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.914441>
- DeLong, J. M., Prange, R. K., & Harrison, P. A. (2004). The influence of 1-methylcyclopropene on 'Cortland' and 'McIntosh' apple quality following long-term storage. *Hortscience*, 39(5), 1062–1065. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.39.5.1062>
- De Freitas, S. T., & Mitcham, E. I. (2012). Factors involved in fruit calcium deficiency disorders. *Horticultural reviews*, 40, 107–146. <https://doi.org/10.1002/9781118351871>
- De Freitas, S. T., & Pareek, S. (2019). *Postharvest physiological disorders in fruits and vegetables*. Boca Raton: CRC Press.
- Fernández, V., Guzmán-Delgado, P., Graça, J., Santos, S., & Gil, L. (2016). Cuticle structure in relation to chemical composition: Re-assessing the prevailing model. *Frontiers in Plant Science* 7, 427. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00427>
- Forsline, P. L., Aldwinckle, H. S., Dickson, E. E., Luby, J. J., & Hokanson, S. (2003). Collection, maintenance, characterization and utilization of wild apples of Central Asia. *Horticultural Reviews*, 29, 1–61. <https://doi.org/10.1002/9780470650868>
- Gasser, F., Eppler, T., Naunheim, W., Gabioud, S. & Bozzi Nising, A. (2010). Dynamic CA storage of apples: Monitoring of the critical oxygen concentration and adjustment of optimum conditions during oxygen reduction. *Acta Horticulturae*, 876, 39–46. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2010.876.3>
- Lurie, S., & Watkins, C. B. (2012). Superficial scald, its etiology and control, *Postharvest Biology and Technology*, 65, 44–60. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2011.11.001>
- Mattheis, J. P., Rudell, D. R., & Hanrahan, I. (2017). Impacts of 1-methylcyclopropene and controlled atmosphere established during conditioning on development of bitter pit in 'Honeycrisp' apples. *Hortscience*, 52(1), 132–137. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI11368-16>
- Mditshwa, A., Fawole, O. A., & Opara, U. L. (2018). Recent developments on dynamic controlled atmosphere storage of apples – A review. *Food Packaging and Shelf Life*, 16, 59–68. <https://doi.org/10.1016/j.foodpack.2018.01.011>
- Meitha, K., Pramesti, Y. & Suhandono, S. (2020). Reactive oxygen species and antioxidants in postharvest vegetables and fruits. *International Journal of Food Science*. <https://doi.org/10.1155/2020/8817778>
- Musacchi, S., & Serra, S. (2018). Apple fruit quality: Overview on pre-harvest factors. *Scientia Horticulturae*, 234, 409–430. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.12.057>
- Paull, R. E. (1999). Effect of temperature and relative humidity on flesh commodity quality. *Postharvest Biology and Technology*, 15, 263–277. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(98\)00090-8](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(98)00090-8)
- Prange, R. K., DeLong, J. M., & Wright, A. H. (2011). Storage of pears using dynamic controlled-atmosphere (DCA), a non-chemical method. *Acta Horticulturae*, 909, 707–717. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2011.909.87>
- Prange, R., Wright, A., DeLong, J., & Zanella, A. (2013). A review on the successful adoption of dynamic controlled-atmosphere (DCA) storage as a replacement for diphenylamine (DPA), the chemical used for control of superficial scald in apples and pears. *Acta Horticulturae*, 1071, 389–396. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2015.1071.50>
- Saltveit, M. E. (2003). Is it possible to find an optimal controlled atmosphere? *Postharvest Biology and Technology*, 7(1), 3–13. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(02\)00184-9](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(02)00184-9)
- Schultz, E. E., Thewes, F. R., Wendt, L. M., Brackmann, A., Both, V., Ludwig, V., Thewes, F. R., Soldateli, F. J., & Wagner, R. (2023). Extremely low oxygen with different hysteresis and dynamic controlled atmosphere storage: Impact on overall quality and volatile profile of 'Maxi Gala' apple. *Postharvest Biology and Technology*, 205, 112527. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2023.112527>
- Thewes, F. R., Both, V., Brackmann, A., Weber, A., & de Oliveira Anese, R. (2015). Dynamic controlled atmosphere and ultralow oxygen storage on 'Gala' mutants quality maintenance. *Food Chemistry*, 188, 62–70. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.04.128>
- Thewes, F. R., Brackmann, A., & Neuwald, D. A. (2019). Dynamics of sugars, anaerobic metabolism enzymes and metabolites in apples stored under dynamic controlled atmosphere. *Scientia Horticulturae*, 255, 145–152. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.05.027>
- Thewes, F. R., Brackmann, A., de Oliveira Anese, R., Ludwig, V., Schultz, E. E., & Berghetti, M. R. P. (2018). 1-methylcyclopropene suppresses anaerobic metabolism in apples stored under dynamic controlled atmosphere monitored by respiratory quotient. *Scientia Horticulturae*, 227, 288–295. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.09.028>
- Tran, D. T., Verlinden, B. E., Hertog, M., & Nicolaï, B. M. (2015). Monitoring of extremely low oxygen control atmosphere storage of 'Greenstar' apples using chlorophyll fluorescence. *Scientia Horticulturae*, 184, 18–22. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.11.014>
- Thompson, A. K., Prange, R. K., Bancroft, R., & Puttongsiri, T. (2018). *Controlled atmosphere storage of fruit and vegetables*. (3rd ed.). Boston: CABI.
- Tromp, J., Webster, A. D. & Wertheim, S. J. (2005). *Fundamentals of temperate zone tree fruit production*. Leiden: Backhuys Publishers.
- Weber, A., Neuwald, D. A., Kitemann, D., Thewes, F. R., Both, V., & Brackmann, A. (2020). Influence of respiratory quotient dynamic controlled atmosphere (DCA-RQ) and ethanol application on softening of Braeburn apples. *Food Chemistry*, 303, 125346. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125346>