

УДК 631.563

DOI 10.30679/2219-5335-2022-2-74-187-203

**ПЕРСПЕКТИВНЫЕ СПОСОБЫ
ХРАНЕНИЯ ПЛОДООВОЩНОЙ
ПРОДУКЦИИ**

Тягушчева Анна Анатольевна
младший научный сотрудник
отдела хранения
и комплексной переработки
сельскохозяйственного сырья
e-mail: 777Any777@mail.ru

Першакова Татьяна Викторовна
д-р техн. наук, доцент
ведущий научный сотрудник
отдела хранения
и комплексной переработки
сельскохозяйственного сырья
e-mail: 7999997@inbox.ru

Купин Григорий Анатольевич
канд. техн. наук,
старший научный сотрудник
отдела хранения
и комплексной переработки
сельскохозяйственного сырья
e-mail: griga_77@mail.ru

Яковлева Татьяна Викторовна
канд. техн. наук, доцент
ст. научный сотрудник
отдела хранения
и комплексной переработки
сельскохозяйственного сырья
e-mail: yakovleva_yy@mail.ru

Семиряжко Елизавета Сергеевна
мл. научный сотрудник
отдела хранения
и комплексной переработки
сельскохозяйственного сырья
e-mail: e.glazacheva@yandex.ru

*Краснодарский научно-
исследовательский институт хранения
и переработки сельскохозяйственной
продукции – филиал Федерального
государственного бюджетного научного
учреждения «Северо-Кавказский
федеральный научный центр садоводства,
виноградарства, виноделия»
Краснодар, Россия*

UDC 631.563

DOI 10.30679/2219-5335-2022-2-74-187-203

**PROMISING WAYS
OF STORING FRUIT
AND VEGETABLE PRODUCTS**

Tyagushcheva Anna Anatolyevna
Junior Research Associate
of Storage and Complex
Processing of Agricultural
Raw materials Department
e-mail: 777Any777@mail.ru

Pershakova Tatiana Viktorovna
Dr. Sci. Tech., Docent
Leading Research Associate
of Storage and Complex
Processing of Agricultural
Raw materials Department
e-mail: 7999997@inbox.ru

Kupin Grigory Anatolyevich
Cand. Tech. Sci.
Senior Research Associate
of Storage and Complex
Processing of Agricultural
Raw materials Department
e-mail: griga_77@mail.ru

Yakovleva Tatiana Viktorovna
Cand. Tech. Sci., Docent
Senior Research Associate
of Storage and Complex
Processing of Agricultural
Raw materials Department
e-mail: yakovleva_yy@mail.ru

Semiryazhko Elizaveta Sergeevna
Junior Research Associate
of Storage and Complex
Processing of Agricultural
Raw materials Department
e-mail: e.glazacheva@yandex.ru

*Krasnodar Research Institute
of Storage and Processing
of Agricultural Products –
branch of the Federal State
Budgetary Scientific Institution
"North Caucasus Federal Scientific
Center of Horticulture,
Viticulture, Winemaking"
Krasnodar, Russia*

Основной задачей сельскохозяйственного производства, в частности отрасли растениеводства, является удовлетворение потребности населения в свежих фруктах и овощах высокого качества. От успешного решения этой задачи во многом зависят уровень жизни человека, его здоровье, что в настоящее время имеет большое значение. Но, несмотря на питательную и функциональную ценность продукции растениеводства, во всем мире ее потребление на душу населения на 20-50 % ниже минимальных рекомендуемых уровней. Главной причиной недостаточного потребления являются количественные и качественные потери в системе производства, хранения и реализации. По данным ФАО, потери продукции растениеводства от общих потерь продуктов питания, составляют до 45 %. В связи с этим наряду с увеличением производства сельскохозяйственных продуктов стоит вопрос о повышении их качества – необходимо совершенствовать не только производство, но и хранение основных видов сельскохозяйственного сырья. Исходя из чего стратегически важной является задача обеспечения сохранности продукции растениеводства в процессе хранения и реализации, что находит отражение в «Концепции государственной политики в сфере здорового питания населения Российской Федерации», предусматривающей комплексные исследования в области совершенствования технологий хранения и переработки фруктов и овощей. Соответственно, целью данной работы является обзор имеющейся научно-технической информации по существующим способам хранения плодоовощной продукции. В результате проведенного анализа научно-технической информации можно сделать вывод, что перспективными направлениями совершенствования технологий хранения сельскохозяйственной продукции является применение регулируемых газовых сред, биоактивных упаковок и покрытий, что способствует продлению сроков хранения с минимальными потерями. Доказанная

The main task of agricultural production, in particular crop production, is to meet the needs of the population for fresh fruits and vegetables of high quality. The successful solution of this problem largely determines the standard of human life and health, which is currently of great importance. However, worldwide consumption of crop production per capita is 20-50 % lower than the minimum recommended levels despite its nutritional and functional value. The main reason for insufficient consumption is quantitative and qualitative losses in the system of production, storage and sale. According to FAO, losses of crop Production from the total food losses are up to 45 %. In this regard, along with increase in the production of agricultural products, there is a question of improving their quality – it is necessary to improve not only the production, but also the storage of major types of agricultural raw materials. In this connection, it is strategically important to ensure the safety of crop products during storage and sale, which is reflected in the «Concept of state policy in the field of healthy nutrition of the population of the Russian Federation», which provides for comprehensive research in improving storage and processing technologies for fruits and vegetables. On this basis, the purpose of this work is to review the available scientific and technical information on existing methods of storage of fruit and vegetable products. As a result of the analysis of scientific and technical information, we can conclude that promising directions for improving the technology of storage of agricultural products are the use of regulated gas environments, bioactive packaging and coatings, which helps to extend the shelf life with minimal losses. The proven effectiveness

эффективность описанных приемов продления сроков хранения продукции растениеводства позволяет предположить актуальность разработки новых технологий хранения с применением комплекса биотехнологических и физических приемов.

of the described methods of extending the shelf life of crop products suggests the relevance of developing new storage technologies using a complex of biotechnological and physical methods.

Ключевые слова: ХРАНЕНИЕ, ПЛОДООВОЩНАЯ ПРОДУКЦИЯ, МОДИФИЦИРОВАННАЯ СРЕДА, БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИЕМЫ

Key words: STORAGE, FRUIT AND VEGETABLE PRODUCTS, MODIFIED ENVIRONMENT, BIOTECHNOLOGICAL TECHNIQUES

Введение. Основной задачей сельскохозяйственного производства, в частности отрасли растениеводства, является удовлетворение потребности населения в свежих фруктах и овощах высокого качества. От успешного решения этой задачи во многом зависят уровень жизни человека, его здоровье, что в настоящее время имеет большое значение. Но, несмотря на питательную и функциональную ценность продукции растениеводства, во всем мире ее потребление на душу населения на 20-50 % ниже минимальных рекомендуемых уровней.

Главной причиной недостаточного потребления являются количественные и качественные потери в системе производства, хранения и реализации. По данным ФАО, в мире теряется или выбрасывается почти треть всех производимых продуктов питания – около 1,3 млрд. тонн в год. Ежегодный объем потерь пищевых продуктов в крупнейших торговых организациях составляет до 700 тыс. тонн, в том числе 45 % – фрукты и овощи. В связи с этим наряду с увеличением производства сельскохозяйственных продуктов стоит вопрос о повышении их качества – необходимо совершенствовать не только производство, но и хранение основных видов сельскохозяйственного сырья. Исходя из чего, стратегически важной является задача обеспечения сохранности продукции растениеводства в процессе хранения и реализации, что находит отражение в «Концепции государственной политики в сфере здорового питания населения Российской Федерации», преду-

смаатривающей комплексные исследования в области совершенствования технологий хранения и переработки фруктов и овощей [1].

Можно существенно повысить урожайность культур и резко увеличить валовые сборы урожая, но не получить должного эффекта, если на различных этапах произойдут большие потери в массе и качестве продукта. При некачественной послеуборочной обработке потери могут составлять до 20 %. Поэтому важно проводить комплекс мероприятий, влияющих на продолжительность хранения и сохранения качества продукции.

В связи с этим, изучение и систематизация современных технологий хранения плодоовощной продукции представляет интерес для широкого круга специалистов и исследователей [2].

Исходя из этого, целью данной работы является обзор имеющейся научно-технической информации по существующим способам хранения плодоовощной продукции.

Объекты и методы исследований. При анализе научных работ изучались иностранные и отечественные научные исследования по теме современных технологий хранения плодоовощной продукции, опубликованные в профильных журналах за последние 10 лет.

Обсуждение результатов. Одним из популярных методов, используемых для продления срока хранения плодоовощной продукции, является хранение в контролируемой атмосфере. Данная практика предполагает контроль не только температурно-влажностного режима, но также регулирование концентрации кислорода, углекислого газа и азота. Так, было доказано, что хранение свежих фруктов и овощей с помощью контролируемой атмосферы позволяет предотвратить поражение фитопатогенами, а также увеличить срок хранения [3, 4].

Setyabudi D.A. была разработана технология хранения перца чили в контролируемой атмосфере с применением следующих соотношений газов: азот 7 %, углекислый газ до 2,5 %. Перец чили хранили при температуре в камерах хранения 10-14 °С и относительной влажности 90-95 %. Разработанная технология позволила обеспечить свежесть перца чили до 5 недель, поддерживая содержание влаги 82-84%, минеральных веществ 0,80-0,95 %, витамина С 237,4-267,16 мг/100 г, а потеря веса при этом составила 12,8 % [5].

В исследовании Kostiuk V.A. et. al. был установлен оптимальный состав контролируемой атмосферы для максимального сохранения пищевой и биологической ценности яблок при хранении – концентрация кислорода $-5,2 \pm 0,1$ %, углекислого газа $-3,6 \pm 0,1$ %, при температуре (3 ± 1) °С. Контролируемая атмосфера создавалась с помощью газоселективной композитной мембраны площадью 14-22 см³/кг, в зависимости от разновидности и частоты дыхания [6].

Учеными из ФГБНУ «Федеральный научный центр имени И.В. Мичурина» были исследованы различные технологии хранения яблок сортов Успенское, Фрегат, Флагман, Былина, Вымпел. Яблоки закладывали на хранение в обычной атмосфере (СО₂ – 0,03 %, О₂ – 21 %), модифицированной среде (О₂ – 16-19 %, СО₂ – 1,5 %, N₂ – 5,0 %) и контролируемой атмосфере со сверхнизким содержанием кислорода (О₂ – 1,2-1,5 %, СО₂ – 1,2-1,5 %). При хранении были выявлены следующие основные болезни: ожог, горькая ямчатость, а также общее повреждение кожицы яблок. Максимальную эффективность хранения показали яблоки сорта Вымпел при хранении контролируемой атмосфере со сверхнизким содержанием кислорода (О₂ – 1,2-1,5 %, СО₂ – 1,2-1,5 %) [7].

При хранении плодоовощной продукции с применением различных технологий, важно учитывать их влияние на биохимический состав сырья. В работе Kader A.A. и Zagory D. было установлено, что при снижении со-

держания O_2 и повышении CO_2 наблюдается большее сохранение витамина С при хранении плодоовощной продукции в контролируемой атмосфере. Однако при таком соотношении была отмечена потеря витамина А, а также ингибирование синтеза каротиноидов [8].

Исследование влияния CO_2 на содержание антоцианов в плодоовощной продукции показало увеличение их количества как во внешних, так и во внутренних слоях продукта, хранившегося при $5\text{ }^\circ\text{C}$ в течение 10 дней, но это увеличение постепенно снижалось в хранящихся плодах по мере увеличения уровня CO_2 [9]. В тоже время при повышении содержания CO_2 при хранении черники в условиях регулируемой атмосферы (O_2 2,5 % + CO_2 15 %) было отмечено значительное увеличение антиоксидантной активности и общего содержания фенолов [10].

По данным Galvis–Sanchez А.С. груши, хранившиеся в контролируемой атмосфере (O_2 – 2 %) в течение 9 месяцев при температуре $0\text{--}0,5\text{ }^\circ\text{C}$ и относительной влажности 90–95 % имели более высокую концентрацию фенольных кислот, по сравнению с теми, которые хранились в холоде при концентрации O_2 4 % [11].

Таким образом, использование различных соотношений газов для хранения плодоовощной продукции позволяет не только продлить срок хранения плодов, овощей и фруктов, но и также сохранить или улучшить биохимический состав сырья. Однако внедрение технологий хранения с применением контролируемой атмосферы, на данный момент имеет различные ограничения, связанные с низкой финансовой отдачей, так как данная технология требует дорогостоящего оборудования.

В последнее десятилетие за рубежом набирает популярность способ хранения овощей и фруктов с применением упаковки с модифицированной атмосферой (МАР), обеспечивающий более длительный период хранения. Как известно, данный метод используется для изменения газовой среды внутри упаковочного материала, в зависимости от типа фруктов и овощей.

Упаковка с модифицированной атмосферой помогает контролировать выделение этилена и снижение уровня кислорода, что обеспечивает сохранение свежести и аромата упакованных продуктов [12, 13]. Так, в работе Park M. была исследована возможность хранения томатов с применением упаковки с модифицированной атмосферой. Для продления сроков хранения томатов применяли несколько видов упаковок с модифицированной атмосферой: Xtend и полиэтиленовые пакеты. Томаты хранили при температуре 4 °С и 12 °С в течение 14 дней. Концентрации O₂ в полиэтиленовых пакетах составляла 19,9-20,3 % и 20,6-20,9 %, содержание CO₂ 0,5-1,2 %, тогда как в упаковке Xtend они снижались до 14,9-16,7 % и 17,8-18,5 %, а содержание CO₂ – 4,2-7,3 %, соответственно. В результате было установлено, что применение упаковок Xtend и полиэтиленовых пакетов позволили сократить скорость созревания плодов, увеличить срок хранения томатов с 7 до 21 дня при комнатной температуре, а при температуре 10 °С срок хранения был доведен до 35 дней. Повышенный уровень CO₂ и сниженный уровень O₂, а также оптимальная относительная влажность (95 %), могут быть использованы для уменьшения травм от переохлаждения и продления срока годности томатов. Таким образом, данная технология хранения выгодна для транспортировки и реализации томатов [13, 14].

В исследовании Sobhani N. было изучено влияние применения трех видов упаковки: 1. Полипропиленовая пленка + нормальная газовая среда (O₂ – 12-16 % и CO₂ – 5-6 %); 2. Полипропиленовая пленка + модифицированная газовая среда (O₂ – 5 %, N₂ – 90 % и CO₂ – 5 %); 3. Полипропиленовая пленка + наногидроксиапатит (3 %) + модифицированная атмосфера (O₂ – 5 %, N₂ 90 % и CO₂ 5 %). Хранение томатов черри сортов Red Takta и Gold Takta производили при температуре (4 ± 1 °С) в течение 16 дней. Исследования проводили при хранении на 1, 4, 8, 12 и 16 сутки для физико-химических тестов и на 3, 5 и 10 сутки для микробиологических тестов. В ходе исследования определяли титруемую кислотность, рН, антиоксидант-

ную активность, общее количество фенола, аскорбиновой кислоты, каротиноидов, ликопина, упругость и цвет на 1, 4, 8, 12 и 16 сутки и микробиологическую популяцию на 5, 10 и 15 сутки. Анализ показал, что рН, титруемая кислотность, общее количество растворимых твердых веществ ($P \leq 0,01$), общее содержание фенола, витамина С, ликопина и микробиологические показатели были лучше при хранении в упаковке, включающая наногидроксиапатит (3%) и модифицированную атмосферу ($O_2 - 5 \%$, $N_2 - 90 \%$ и $CO_2 - 5 \%$) ($P \leq 0,05$). Лучшим вариантом для хранения томатов черри была выбрана упаковка, содержащая наногидроксиапатит и модифицированную газовую среду, которая позволяет максимально сохранить физико-химические и микробные характеристики томатов черри в течение всего периода хранения [15].

Еще одним из распространенных способов хранения плодоовощной продукции является применение биотехнологических приемов. Так, популярность набирает использование биополимеров, что показывает многообещающие результаты в сохранении товарного качества продукта во время хранения [16, 17].

Jose T., et.al. описывают разработку нанокомпозитной пленки на основе бентонитовой глины. Так были использованы различные соотношения – от 1 % до 5 %. Нанокомпозитная пленка с массовой долей бентонитовой глины 5 % показала улучшенные свойства для сохранения пищевых продуктов [18].

В тоже время, использование различных наноматериалов в составе покрытий оказывает антибактериальные и антиоксидантные свойства, тем самым позволяет увеличить срок хранения [19-22].

Например, Obianom C. исследовал покрытие на основе хитозана для хранения авокадо. В результате исследования было установлено, что применение покрытия на основе хитозана уменьшает антракноз, возбудителем которого являются грибы рода *Colletotrichum*, в течение 28 дней хранения

и в течение 5 дней в условиях реализации. Ученый объясняет это тем, что хитозан способствует активации фенилаланин-аммиак-лиазы, а также умеренному сохранению содержания эпикатехина (90 мг/кг) в кожуре, вероятно, из-за замедленного созревания и выделения этилена [23].

Rai M. et. al. описали разработку нанокompозитной пленки из этиленового спирта, включающей наночастицы серебра. В ходе исследования была проведена оценка противомикробного действия при контакте со свежими фруктами и овощами. Авторы установили, что пленка ингибирует активность микроорганизмов, вызывающих порчу пищевых продуктов, тем самым увеличивая срок их годности [24].

В таблице представлены различные био-покрытия для хранения плодоовощной продукции, применяемые зарубежными учеными [24, 25].

Био-покрытия для хранения плодоовощной продукции

Наноматериал	Биополимер	Объект хранения	Свойства
Серебро (Ag)	Покрытие на основе целлюлозы	Томаты	Антибактериальные
Оксид титана (TiO ₂)	Покрытие на основе хитозана	Виноград	Антибактериальные
Оксид титана (TiO ₂)	Покрытие на основе полиакрилонитрила	Томаты	Свойство поглощения этилена
Оксид цинка (ZnO)	Покрытие на основе хитозана	Виноград, яблоко, манго	Антиоксидантные и антибактериальные свойства

Хитозан широко используется в качестве основы приготовления биополимеров, обладающих антиоксидантными, антимикробными и противогрибковыми свойствами, что делает их хорошей заменой синтетическим химическим веществам [26, 27]. Использование покрытий на основе хитозана обеспечивает увеличение срока годности пищевых продуктов без нарушения их органолептических свойств [28, 29].

Исследователями Flores–López, M. L., et. al. была изучена эффективность покрытия из наночастиц хитозана и эфирного масла. Было установлено, что покрытия из наночастиц хитозана и эфирного масла могут влиять на характер созревания, цвет мякоти, динамику потери веса и деградации фенольных соединений, антиоксидантные свойства авокадо, папайи и манго [30, 31].

Частицы серебра и оксида титана, используемые в био-покрытиях, придают антибактериальные свойства, что замедляет процесс развития патогенной микрофлоры за счет введения в систему активных биоцидных веществ. В работе Emamifar A., et. al. описывается разработка полимерной матрицы с добавлением наночастиц серебра и наночастиц оксида цинка, а также оценена антимикробная активность нанокompозитной пленки против порчи пищевых продуктов [32].

Motlagh N.V. et. al. изучали влияние наночастиц серебра, входящих в состав упаковочного материала для барбариса и земляники. Влияние упаковки с наночастицами серебра на микробные факторы, цвет и другие органолептические показатели барбариса было исследовано по сравнению с упаковкой из чистого полиэтилена. Было продемонстрировано, что упаковка с наночастицами серебра улучшила сенсорные и физиологические качества барбариса и земляники по сравнению с фруктами, помещенными в обычную полиэтиленовую упаковку. По сравнению с упаковками из чистого полиэтилена, упаковка с Ag (2 мас. % частиц серебра) показала противомикробную активность по отношению к плесневым микроорганизмам, а упаковка с наночастицами серебра (1 мас. %) обеспечила сохранение внешнего вид ягод лучше, чем упаковка из чистого полиэтилена. Было отмечено, что применение упаковки с наночастицами серебра увеличивает срок хранения барбариса и земляники на 2-3 недели [33].

Однако несмотря на распространенность исследований по разработке упаковочных материалов с применением серебра, многие отдают предпо-

чение наночастицам оксида титана, так как они демонстрируют более высокие противомикробные свойства, чем наночастицы серебра. Например, наночастицы TiO_2 были признаны эффективными против распространенных пищевых патогенов, включая *Salmonella choleraesuis subsp.*, *Vibrio parahaemolyticus* и *L. Monocytogenes*. Полипропиленовые пленки, покрытые наночастицами TiO_2 , подавляли рост кишечной палочки на свежем салате латуке [22].

Выводы. В результате проведенного анализа научно-технической информации можно сделать вывод, что перспективными направлениями совершенствования технологий хранения плодоовощной продукции является применение регулируемых газовых сред, биоактивных упаковок и покрытий, что способствует продлению сроков хранения с минимальными потерями. Доказанная эффективность описанных выше приемов продления сроков хранения продукции растениеводства позволяет предположить актуальность разработки новых технологий хранения с применением комплекса биотехнологических и физических приемов.

Литература

1. Основы государственной политики Российской Федерации в области здорового питания населения на период до 2020 года: распоряжение Правительства Российской Федерации от 25.10.2010 № 1873. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
2. Sridhar A., Ponnuchamy M., Ponnusamy S.K., Kapoor A. Food preservation techniques and nanotechnology for increased shelf life of fruits, vegetables, beverages and spices: a review [Электронный ресурс] // Environmental Chemistry Letters. 2021. V. 19. p. 1715–1735. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10311-020-01126-2> (дата обращения 24.01.2022).
3. Prange R. K., Delong J. M., Daniels–Lake B. J., Harrison P. A. Innovation in controlled atmosphere technology [Электронный ресурс] // Stewart Postharvest Review. 2005. № 1(30). p. 1–11. URL: https://www.researchgate.net/publication/233624010_Innovation_in_controlled_atmosphere_technology (дата обращения 25.01.2022).
4. Ayomide O.B., Ajayi A.A., Ajayi O.O. Advances in the development of a tomato postharvest storage system: towards eradicating postharvest losses [Электронный ресурс] // Journal of Physics: Conference Series. 2019. V. 1378 (2) 022064. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1378/2/022064> (дата обращения 09.02.2022).

5. Setyabudi D. A., Ratnaningsih, Broto W., Jamal I.B. Effect of Control Atmosphere Storage Model on the Quality of Chili [Электронный ресурс] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. V. 309. 012024. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/309/1/012024> (дата обращения 28.01.2022).

6. Kostiuk V.A., Kolodyaznaya V. S., Rumiantceva O. N., Kiprushkina E. I., Shestopalova I. A. Biological method based on track membranes to form controlled gaseous media for fruit cold storage [Электронный ресурс] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. V. 866. 012013. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/866/1/012013> (дата обращения 25.01.2022).

7. Gudkovsky V.A., Kozhina L.V., Nazarov Y.B., Sutormina A.V., Akishin D.V. Keeping ability of apple fruits of new cultivars under different storage technologies storage [Электронный ресурс] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. V. 845. 012099. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/845/1/012099> (дата обращения 09.02.2022).

8. Kader A.A., Zagory D. Modified atmosphere packaging of fruits and vegetables [Электронный ресурс] // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 1989. № 28. p. 1–30. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/2647417/> (дата обращения 09.02.2022).

9. Holcroft D.M., Kader A.A. Carbon dioxide-induced changes in color and anthocyanin synthesis of stored strawberry fruit [Электронный ресурс] // HortScience. 1999. № 34(7). p. 1244-1248. URL: https://www.researchgate.net/publication/252703435_Carbon_Dioxide-induced_Changes_in_Color_and_Anthocyanin_Synthesis_of_Stored_Strawberry_Fruit (дата обращения 25.01.2022).

10. Schotsmans W., Molan A., MacKay B. Controlled atmosphere storage of rabbit-eye blueberries enhances postharvest quality aspects [Электронный ресурс] // Postharvest Biology and Technology. 2007. № 44(3). p. 277–285. URL: https://www.academia.edu/59262383/Controlled_atmosphere_storage_of_rabbiteye_blueberries_enhances_postharvest_quality_aspects (дата обращения 28.01.2022).

11. Galvis-Sanchez A.C., Fonseca S.C., Morais A.M., Malcata F.X. Sensorial and physicochemical quality responses of pears (cv Rocha) to longterm storage under controlled atmospheres [Электронный ресурс] // Journal of the Science of Food and Agriculture. 2004. № 84(13). p. 1646-1656. URL: <https://doi.org/10.1002/jsfa.1798> (дата обращения 25.01.2022).

12. Карастоянова, О.В., Шаталова, Н.И., Левшенко, М.Т., Коровкина, Н.В. Эффективная комплексная технология хранения фруктов и овощей с применением ионизирующих излучений и модифицированием состава газовой среды / Н.С. Шишкина [и др.] // Радиационные технологии в сельском хозяйстве и пищевой промышленности: состояние и перспективы: сборник докладов международной научно-практической конференции (Обнинск, 26-28 сентября 2018 г.) . Обнинск: ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии», 2018. С. 318-321.

13. Mangaraj S., Yadav A., Bal M.L. Development and Evaluation of Pilot Scale Modified Atmosphere Storage and Modified Atmosphere Packaging Systems for Tomatoes [Электронный ресурс] // Journal of Packaging Technology and Research. 2019. V. 3. p. 11–26. URL: https://link.springer.com/article/10.1007/s41783-018-0051-4?error=cookies_not_supported&code=f190be33-97b6-4511-b02f-5ed95cab8675 (дата обращения 24.01.2022).

14. Park M., Sangwanangkul P., Choi J. Reduced chilling injury and delayed fruit ripening in tomatoes with modified atmosphere and humidity packaging [Электронный ресурс] // *Scientia Horticulturae*. 2018. № 231. p. 66–72. URL: DOI:10.1016/j.scienta.2017.12.021 (дата обращения 25.01.2022).

15. Sobhani N., Zamindar N., Aarabi Najvani F. Effect of polypropylene packaging containing nano-hydroxyapatite and modified atmosphere on the physicochemical and microbial properties of cherry tomatoes [Электронный ресурс] // *Food Measure*. 2022. № 16. p. 307-323. URL: <https://doi.org/10.1007/s11694-021-01160-w> (дата обращения 25.01.2022).

16. Robinson D. K. R., Morrison M. J. Nanotechnologies for food packaging: Reporting the science and technology research trends [Электронный ресурс] // *Report for the Observatory Nano*. 2010. № 15. p. 476-480. URL: https://www.researchgate.net/publication/306300440_Nanotechnology_in_Food_Packaging (дата обращения 24.01.2022).

17. Haitao J., Zhang W., Xu Y., Zhang Y., Pu Y., Cao J., Jiang W. Applications of plant-derived food by-products to maintain quality of postharvest fruits and vegetables [Электронный ресурс] // *Trends in Food Science & Technology*. 2021. № 116. p.1105-1119. URL: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.09.010> (дата обращения 25.01.2022).

18. Jose T., George S., Maya M. Effect of bentonite clay on the mechanical, thermal, and pervaporation performance of the polyvinyl alcohol nanocomposite membranes [Электронный ресурс] // *Industrial & Engineering Chemistry Research*. 2014. № 53(43). p. 16820-16831. URL: <https://doi.org/10.1021/ie502632p> (дата обращения 25.01.2022).

19. Echegoyen Y., Rodríguez S., Nerín C. Nanoclay migration from food packaging materials [Электронный ресурс] // *Food Additives and Contaminants – Part A Chemistry, Analysis, Control, Exposure and Risk Assessment*. 2016. № 33(3). p. 530–539. URL: <https://doi.org/10.1080/19440049.2015.1136844> (дата обращения 24.01.2022).

20. Sivakumar D., Tuna N., Romanazzi G. A Comprehensive Review on the Impact of Edible Coatings, Essential Oils, and Their Nano Formulations on Postharvest Decay Anthracnose of Avocados, Mangoes, and Papayas // *Frontiers in Microbiology*. 2021. № 12. URL: <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fmicb.2021.711092> (дата обращения 25.01.2022).

21. Zubair M., Ullah A. Recent advances in protein derived bionanocomposites for food packaging applications [Электронный ресурс] // *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2019. № 60. p. 406–434. URL: <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1534800> (дата обращения 25.01.2022).

22. Ducan T. V. Applications of nanotechnology in food packaging and food safety barriers materials, antimicrobials and sensors [Электронный ресурс] // *Journal of Colloid and Interface Science*. 2011. № 363(1). p. 1–24. URL: https://www.researchgate.net/publication/51555031_Applications_of_Nanotechnology_in_Food_Packaging_and_Food_Safety_Barrier_Materials_Antimicrobials_and_Sensors (дата обращения 24.01.2022).

23. Obianom C., Romanazzi G., Sivakuma D. Effects of chitosan treatment on avocado postharvest diseases and expression of phenylalanine ammonia-lyase, chitinase and lipoxygenase genes [Электронный ресурс] // *Postharvest Biological Technology*. 2019. № 147. p. 214–221. URL: doi: 10.1016/j.postharvbio.2018.10.004 (дата обращения 24.01.2022).

24. Rai M., Ingle A., Gupta I. Smart nanopackaging for the enhancement of food shelf life [Электронный ресурс] // *Environmental Chemistry Letters*. 2019. № 17. p. 277-290. URL: <https://doi.org/10.1007/s10311-018-0794-8> (дата обращения 25.01.2022).

25. Luo Y., Wang Q., Zhang Y. Biopolymer-based nanotechnology approaches to deliver bioactive compounds for food applications: a perspective on the past, present, and future [Электронный ресурс] // *Agric. Food. Chem.* 2020. p. 12993–13000. URL: <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.0c00277> (дата обращения 26.01.2022).

26. Yuan G., Chen X., Li D. Chitosan films and coatings containing essential oils: the antioxidant and antimicrobial activity, and application in food systems [Электронный ресурс] // *Food Research International*. 2016. №. 89. p. 117–128. URL: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.10.004> (дата обращения 24.01.2022).

27. Morin-Crini N., Lichtfouse E., Torri G., Crini G. Applications of chitosan in food, pharmaceuticals, medicine, cosmetics, agriculture, textiles, pulp and paper, biotechnology, and environmental chemistry [Электронный ресурс] // *Environmental Chemistry Letters*. 2019. № 17. p.1667–1692. URL: <https://doi.org/10.1007/s10311-019-00904-x> (дата обращения 24.01.2022).

28. Yousuf B., Qadri O., Srivastava A. Recent developments in shelf-life extension of fresh-cut fruits and vegetables by application of different edible coatings: a review [Электронный ресурс] // *LWT – Food Science Technology*. 2018. № 89. p. 198-209. URL: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.10.051> (дата обращения 25.01.2022).

29. Kulawik P. Chitosan role for shelf-life extension of seafood / P. Kulawik, E. Jamróz, F. Özogul [Электронный ресурс] // *Environmental Chemistry Letters*. 2019. № 18. p. 61–74. URL: <https://doi.org/10.1007/s10311-019-00935-4> (дата обращения 26.01.2022).

30. Flores-López M. L., Cerqueira M. A., de Rodríguez D. J., Vicente A. A Perspectives on utilization of edible coatings and nano-laminate coatings for extension of postharvest storage of fruits and vegetables [Электронный ресурс] // *Food Eng. Rev.* 2016. № 8. p. 292–305. URL: doi: 10.1007/s12393-015-9135-x (дата обращения 26.01.2022).

31. Mohammadi A., Hashemi M., Hosseini S. M. Postharvest treatment of nanochitosan-based coating loaded with *Zataria multiflora* essential oil improves antioxidant activity and extends shelf life of cucumber [Электронный ресурс] // *Innov. Food Sci. Emerg.* 2015. № 33. p. 580–588. URL: doi: 10.1016/j.ifset.2015.10.015 (дата обращения 09.02.2022).

32. Emamifar A., Kadivar M., Shahedi M., Solaimanianzad S. Evaluation of nanocomposite packaging containing Ag and ZnO on the shelf life of fresh orange juice [Электронный ресурс] // *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 2015. № 11(4). p. 742–748. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2010.06.003> (дата обращения 09.02.2022).

33. Jamróz E., Khachatryan G., Kopel P. Furcellaran nanocomposite films: the effect of nanofillers on the structural, thermal, mechanical and antimicrobial properties of biopolymer films [Электронный ресурс] // *Carbohydrates Polymer*. 2020. № 240. p. 116. URL: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116244> (дата обращения 25.01.2022).

Reference

1. Osnovy gosudarstvennoj politiki Rossijskoj Federacii v oblasti zdorovogo pitaniya naseleniya na period do 2020 goda: rasporyazhenie Pravitel'stva Rossijskoj Federacii ot 25.10.2010 № 1873. Dostup iz sprav.- pravovoj sistemy «Konstul'tantPlyus».

2. Sridhar A., Ponnuchamy M., Ponnusamy S.K., Kapoor A. Food preservation techniques and nanotechnology for increased shelf life of fruits, vegetables, beverages and spices: a review [Elektronnyj resurs] // *Environmental Chemistry Letters*. 2021. V. 19. p. 1715–1735. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10311-020-01126-2> (data obrashcheniya 24.01.2022).

3. Prange R. K., Delong J. M., Daniels–Lake B. J., Harrison P. A. Innovation in controlled atmosphere technology [Elektronnyj resurs] // Stewart Postharvest Review. 2005. № 1(30). p. 1-11. URL: https://www.researchgate.net/publication/233624010_Innovation_in_controlled_atmosphere_technology (data obrashcheniya 25.01.2022).
4. Ayomide O.B., Ajayi A.A., Ajayi O.O. Advances in the development of a tomato postharvest storage system: towards eradicating postharvest losses [Elektronnyj resurs] // Journal of Physics: Conference Series. 2019. V. 1378 (2) 022064. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1378/2/022064> (data obrashcheniya 09.02.2022).
5. Setyabudi D. A., Ratnaningsih, Broto W., Jamal I.B. Effect of Control Atmosphere Storage Model on the Quality of Chili [Elektronnyj resurs] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. V. 309. 012024. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/309/1/012024> (data obrashcheniya 28.01.2022).
6. Kostiuk V.A., Kolodyaznaya V.S., Rumiantceva O.N., Kiprushkina E.I., Shestopalova I.A. Biological method based on track membranes to form controlled gaseous media for fruit cold storage [Elektronnyj resurs] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. V. 866. 012013. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/866/1/012013> (data obrashcheniya 25.01.2022).
7. Gudkovsky V.A., Kozhina L.V., Nazarov Y.B., Sutormina A.V., Akishin D.V. Keeping ability of apple fruits of new cultivars under different storage technologies storage [Elektronnyj resurs] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. V. 845. 012099. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/845/1/012099> (data obrashcheniya 09.02.2022).
8. Kader A.A., Zagory D. Modified atmosphere packaging of fruits and vegetables [Elektronnyj resurs] // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 1989. № 28. p. 1-30. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/2647417/> (data obrashcheniya 09.02.2022).
9. Holcroft D.M., Kader A.A. Carbon dioxide–induced changes in color and anthocyanin synthesis of stored strawberry fruit [Elektronnyj resurs] // HortScience. 1999. № 34(7). p. 1244-1248. URL: https://www.researchgate.net/publication/252703435_Carbon_Dioxide-induced_Changes_in_Color_and_Anthocyanin_Synthesis_of_Stored_Strawberry_Fruit (data obrashcheniya 25.01.2022).
10. Schotsmans W., Molan A., MacKay B. Controlled atmosphere storage of rabbit-eye blueberries enhances postharvest quality aspects [Elektronnyj resurs] // Postharvest Biology and Technology. 2007. № 44(3). p. 277–285. URL: https://www.academia.edu/59262383/Controlled_atmosphere_storage_of_rabbit-eye_blueberries_enhances_postharvest_quality_aspects (data obrashcheniya 28.01.2022).
11. Galvis-Sanchez A.C., Fonseca S.C., Morais A.M., Malcata F.X. Sensorial and physicochemical quality responses of pears (cv Rocha) to longterm storage under controlled atmospheres [Elektronnyj resurs] // Journal of the Science of Food and Agriculture. 2004. № 84(13). p. 1646–1656. URL: <https://doi.org/10.1002/jsfa.1798> (data obrashcheniya 25.01.2022).
12. Karastoyanova, O.V., Shatalova, N.I., Levshenko, M.T., Korovkina, N.V. Efektivnaya kompleksnaya tekhnologiya hraneniya fruktov i ovoshchej s primeneniem ioniziruyushchih izluchenij i modifitsirovaniem sostava gazovoj sredy / N.S. Shishkina [i dr.] // Radiacionnye tekhnologii v sel'skom hozyajstve i pishchevoj promyshlennosti: sostoyanie i perspektivy: sbornik dokladov mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii (Obninsk, 26-28 sentyabrya 2018 g.). Obninsk: FGBNU «Vserossijskij nauchno-issledovatel'skij institut radiologii i agroekologii», 2018. S. 318-321.

13. Mangaraj S., Yadav A., Bal M.L. Development and Evaluation of Pilot Scale Modified Atmosphere Storage and Modified Atmosphere Packaging Systems for Tomatoes [Elektronnyj resurs] // Journal of Packaging Technology and Research. 2019. V. 3. p. 11–26. URL: https://link.springer.com/article/10.1007/s41783-018-0051-4?error=cookies_not_supported&code=f190be33-97b6-4511-b02f-5ed95cab8675 (data obrashcheniya 24.01.2022).

14. Park M., Sangwanangkul P., Choi J. Reduced chilling injury and delayed fruit ripening in tomatoes with modified atmosphere and humidity packaging [Elektronnyj resurs] // Scientia Horticulturae. 2018. № 231. p. 66–72. URL: DOI:10.1016/j.scienta.2017.12.021 (data obrashcheniya 25.01.2022).

15. Sobhani N., Zamindar N., Aarabi Najvani F. Effect of polypropylene packaging containing nano-hydroxyapatite and modified atmosphere on the physicochemical and microbial properties of cherry tomatoes [Elektronnyj resurs] // Food Measure. 2022. № 16. p. 307–323. URL: <https://doi.org/10.1007/s11694-021-01160-w> (data obrashcheniya 25.01.2022).

16. Robinson D. K. R., Morrison M. J. Nanotechnologies for food packaging: Reporting the science and technology research trends [Elektronnyj resurs] // Report for the Observatory Nano. 2010. № 15. p. 476–480. URL: https://www.researchgate.net/publication/306300440_Nanotechnology_in_Food_Packaging (data obrashcheniya 24.01.2022).

17. Haitao J., Zhang W., Xu Y., Zhang Y., Pu Y., Cao J., Jiang W. Applications of plant-derived food by-products to maintain quality of postharvest fruits and vegetables [Elektronnyj resurs] // Trends in Food Science & Technology. 2021. № 116. p.1105–1119. URL: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.09.010> (data obrashcheniya 25.01.2022).

18. Jose T., George S., Maya M. Effect of bentonite clay on the mechanical, thermal, and pervaporation performance of the polyvinyl alcohol nanocomposite membranes [Elektronnyj resurs] // Industrial & Engineering Chemistry Research. 2014. № 53(43). p. 16820–16831. URL: <https://doi.org/10.1021/ie502632p> (data obrashcheniya 25.01.2022).

19. Echegoyen Y., Rodríguez S., Nerín C. Nanoclay migration from food packaging materials [Elektronnyj resurs] // Food Additives and Contaminants – Part A Chemistry, Analysis, Control, Exposure and Risk Assessment. 2016. № 33(3). p. 530–539. URL: <https://doi.org/10.1080/19440049.2015.1136844> (data obrashcheniya 24.01.2022).

20. Sivakumar D., Tuna N., Romanazzi G. A Comprehensive Review on the Impact of Edible Coatings, Essential Oils, and Their Nano Formulations on Postharvest Decay Anthracnose of Avocados, Mangoes, and Papayas // Frontiers in Microbiology. 2021. № 12. URL: <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fmicb.2021.711092> (data obrashcheniya 25.01.2022).

21. Zubair M., Ullah A. Recent advances in protein derived bionanocomposites for food packaging applications [Elektronnyj resurs] // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2019. № 60. p. 406–434. URL: <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1534800> (data obrashcheniya 25.01.2022).

22. Ducan T. V. Applications of nanotechnology in food packaging and food safety barriers materials, antimicrobials and sensors [Elektronnyj resurs] // Journal of Colloid and Interface Science. 2011. № 363(1). p. 1–24. URL: https://www.researchgate.net/publication/51555031_Applications_of_Nanotechnology_in_Food_Packaging_and_Food_Safety_Barrier_Materials_Antimicrobials_and_Sensors (data obrashcheniya 24.01.2022).

23. Obianom C., Romanazzi G., Sivakuma D. Effects of chitosan treatment on avocado postharvest diseases and expression of phenylalanine ammonia-lyase, chitinase and lipoxy-genase genes [Elektronnyj resurs] // Postharvest Biological Technology. 2019. № 147. p. 214–221. URL: doi: 10.1016/j.postharvbio.2018.10.004 (data obrashcheniya 24.01.2022).

24. Rai M., Ingle A., Gupta I. Smart nanopackaging for the enhancement of food shelf life [Elektronnyj resurs] // Environmental Chemistry Letters. 2019. № 17. p. 277–290. URL: <https://doi.org/10.1007/s10311-018-0794-8> (data obrashcheniya 25.01.2022).

25. Luo Y., Wang Q., Zhang Y. Biopolymer-based nanotechnology approaches to deliver bioactive compounds for food applications: a perspective on the past, present, and future [Elektronnyj resurs] // Agric. Food. Chem. 2020. p. 12993–13000. URL: <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.0c00277> (data obrashcheniya 26.01.2022).

26. Yuan G., Chen X., Li D. Chitosan films and coatings containing essential oils: the antioxidant and antimicrobial activity, and application in food systems [Elektronnyj resurs] // Food Research International. 2016. №. 89. p. 117–128. URL: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.10.004> (data obrashcheniya 24.01.2022).

27. Morin-Crini N., Lichtfouse E., Torri G., Crini G. Applications of chitosan in food, pharmaceuticals, medicine, cosmetics, agriculture, textiles, pulp and paper, biotechnology, and environmental chemistry [Elektronnyj resurs] // Environmental Chemistry Letters. 2019. № 17. p. 1667–1692. URL: <https://doi.org/10.1007/s10311-019-00904-x> (data obrashcheniya 24.01.2022).

28. Yousuf B., Qadri O., Srivastava A. Recent developments in shelf-life extension of fresh-cut fruits and vegetables by application of different edible coatings: a review [Elektronnyj resurs] // LWT – Food Science Technology. 2018. № 89. p. 198–209. URL: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.10.051> (data obrashcheniya 25.01.2022).

29. Kulawik P. Chitosan role for shelf-life extension of seafood / P. Kulawik, E. Jamróz, F. Özogul [Elektronnyj resurs] // Environmental Chemistry Letters. 2019. № 18. p. 61–74. URL: <https://doi.org/10.1007/s10311-019-00935-4> (data obrashcheniya 26.01.2022).

30. Flores-López M. L., Cerqueira M. A., de Rodríguez D. J., Vicente A. A. Perspectives on utilization of edible coatings and nano-laminate coatings for extension of post-harvest storage of fruits and vegetables [Elektronnyj resurs] // Food Eng. Rev. 2016. № 8. p. 292–305. URL: doi: 10.1007/s12393-015-9135-x (data obrashcheniya 26.01.2022).

31. Mohammadi A., Hashemi M., Hosseini S. M. Postharvest treatment of nanochitosan-based coating loaded with Zataria multiflora essential oil improves antioxidant activity and extends shelf life of cucumber [Elektronnyj resurs] // Innov. Food Sci. Emerg. 2015. № 33. p. 580–588. URL: doi: 10.1016/j.ifset.2015.10.015 (data obrashcheniya 09.02.2022).

32. Emamifar A., Kadivar M., Shahedi M., Solaimanianzad S. Evaluation of nanocomposite packaging containing Ag and ZnO on the shelf life of fresh orange juice [Elektronnyj resurs] // Innov. Food Sci. Emerg. Technol. 2015. № 11(4). p. 742–748. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2010.06.003> (data obrashcheniya 09.02.2022).

33. Jamróz E., Khachatryan G., Kopel P. Furcellaran nanocomposite films: the effect of nanofillers on the structural, thermal, mechanical and antimicrobial properties of biopolymer films [Elektronnyj resurs] // Carbohydrates Polymer. 2020. № 240. p. 116. URL: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116244> (data obrashcheniya 25.01.2022).