Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова»

На правах рукописи

ЮРИНА ОЛЬГА ВАЛЕРЬЕВНА

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ГРЕЦКИХ ОРЕХОВ, РЕАЛИЗУЕМЫХ В РОЗНИЧНОЙ ТОРГОВОЙ СЕТИ, И РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ИХ ЛЕЖКОСПОСОБНОСТИ

05.18.15 – Технология и товароведение пищевых продуктов и функционального и специализированного назначения и общественного питания

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель –
доктор технических наук, профессор
Елисеева Л.Г.

Москва – 2018

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ……..... 5
ГЛАВА 1 ХАРАКТЕРИСТИКА ПИЩЕВОЙ ЦЕННОСТИ И ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ОРЕХОПЛОДНЫХ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ РИСКОВ ОКИСЛИТЕЛЬНОЙ ПОРЧИ ОРЕХОПЛОДНЫХ НА ЭТАПАХ ТОВАРОДВИЖЕНИЯ….11
1.1 Анализ современных тенденций развития рынка орехоплодных в России и мире…….. 11
1.2 Характеристика потребительских свойств и особенностей химического состава орехоплодных……15
1.3 Анализ факторов, определяющих окислительную стабильность жиров орехоплодных в процессе хранения……... 26
1.4 Анализ современных технологий увеличения сроков годности орехоплодных……32
1.5 Характеристика антиоксидантов, используемых для увеличения сроков годности жиросодержащей продукции…….....36
1.6 Анализ эффективности современных электрофизических способов обработки пищевых продуктов……...42
ГЛАВА 2 ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ…… 46
2.1 Характеристика объектов исследования……... 46
2.2 Методы и схема проведения исследований ……. 50
ГЛАВА 3 ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА КРИТЕРИЕВ ОЦЕНКИ УРОВНЯ РАЗВИТИЯ ПРОЦЕССА АВТООКИСЛЕНИЯ ЖИРОВ В ГРЕЦКИХ ОРЕХАХ ПРИ ХРАНЕНИИ……56
3.1 Изучение влияния условий хранения на интенсивность процессов, протекающих в грецких орехах сорта «Урожайный»……56
3.2 Влияние условий ускоренного хранения на динамику органолептических показателей качества на примере модельной системы грецких орехов…….....62
3.3 Влияние режимов ускоренного хранения на динамику органолептических показателей качества грецких орехов, реализуемых на предприятиях розничной торговой сети……..65
3.4 Анализ динамики физико-химических критериев окислительной стабильности грецких орехов при различных температурных режимах ускоренного хранения для обоснования критериев лежкоспособности …….....71
3.5 Анализ показателей химического состава ядер грецкого ореха при хранении с целью установления критериев потенциальной лежкоспособности……81

3.5.1 Анализ динамики жирнокислотного состава масла ядер грецкого ореха при хранении…… 81
3.5.2 Изучение динамики аминокислотного состава белков грецкого ореха в процессе ускоренного хранения…….. 84
3.5.3 Анализ динамики содержания токоферолов в ядрах грецких орехов в процессе ускоренного хранения…….. 86
3.5.4 Определение состава и содержания летучих соединений, формирующих запах орехов в процессе хранения……...90
3.6 Комплекс критических показателей потенциальной лежкоспособности ядер грецких орехов при хранении……..95
3.7 Изучение корреляционной зависимости органолептических и физико-химических показателей окислительной порчи с целью разработки методики прогнозирования лежкоспособности ядер грецких орехов при хранении…….101
ГЛАВА 4 РАЗРАБОТКА СПОСОБОВ УВЕЛИЧЕНИЯ СРОКОВ ГОДНОСТИ ЯДЕР ГРЕЦКИХ ОРЕХОВ НА ЭТАПАХ ТОВАРОДВИЖЕНИЯ……...104
4.1 Влияние обработки ядер грецких орехов в электромагнитном поле плазменного электромагнитного генератора на их лежкоспособность…….. 105
4.2 Сравнительная эффективность действия промышленных препаратов натуральных антиоксидантов разной химической природы на повышение химической стабильности липидов ядер грецких орехов при хранении……109
4.2.1 Сравнительная эффективность использования натуральных антиоксидантов линейки NovaSOL для снижения скорости перекисного окисления липидов в ядрах грецких орехов при хранении…….. 110
4.2.2 Влияние антиоксиданта дигидрокверцетина на активность окислительных процессов в масле грецких орехов при хранении…….....119
ГЛАВА 5 РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОГНОЗИРУЕМЫХ ОСТАТОЧНЫХ СРОКОВ ГОДНОСТИ ГРЕЦКИХ ОРЕХОВ……..127
5.1 Расчет прогнозируемых остаточных сроков годности грецких орехов с помощью модели Аррениуса……..129
5.2 Расчет остаточных прогнозируемых сроков годности грецких орехов с помощью линейной модели…….....135
5.3 Разработка методики расчета оптимальной концентрации дигидрокверцетина для установления остаточных сроков годности…….139

5.4 Технико-экономическое обоснование применения дигидрокверцетина в качестве антиоксиданта для увеличения срока годности грецких орехов…….....142
ЗАКЛЮЧЕНИЕ……..144
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ…… 146
Приложение А.……...170
Приложение Б.…….....194
Приложение В…… 206
Приложение Г. ……...213

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Орехи по своей пищевой ценности можно отнести к натуральным биоконцентратам. При низком содержании влаги, орехи имеют уникальный комплекс микро- и макронутриентов. С древних времен считается, что орехи активизируют физическую и умственную активность, способствуют долголетию, обеспечивают энергетический баланс в организме человека. Распространение результатов новых исследований о пользе орехов, полученных в ведущих университетах мира, способствует увеличению объемов потребления орехов.

Международная индустрия производства и переработки орехов в последние десятилетия активно развивается и характеризуется наиболее высокими темпами роста по сравнению с другими видами агропромышленного бизнеса. За последние 10 лет мировое производство орехов увеличилось почти на 40 %, а объемы реализации – на 116 %. Особенно резкий скачок спроса был установлен для грецкого ореха, как важнейшего альтернативного источника основных физиологически активных соединений, заменяющих продукты питания животного происхождения. В США за последние пять лет установлено увеличение объемов потребления грецкого ореха в 2 раза.

Структура международного рынка орехов за последние годы сформировалась следующим образом: около 30 % мирового производства орехов составляет миндаль (1293 тыс. тонн) – 80 % урожая приходится на США, на втором месте представлен грецкий орех (около 20 %) – основными производителями являются Китай и США; 15 % мирового производства орехов приходится на фисташки – 40 % выращивается в США и 40 % в Иране; мировое производство фундука составляет 12 % от объема производства всех орехов (497 тыс. тонн) – 70 % его производства сосредоточено в Турции. Предполагается, что в 2018 г. мировой объем производства орехов составит 4205 тыс. тонн. Отмечено постоянное увеличение площадей, отводимых под посадку орехоплодных, в т. ч. площадь посадок грецких орехов за последнее десятилетие увеличилась более чем на 30 %.

Российский рынок орехов формируется в основном за счет импортных поставок, объем которых достигает 90 %. Введение эмбарго на поставку продовольствия, а также снижение курса рубля, привело к нарушению стабильности сформировавшегося рынка орехов в России. Российские производители вынуждены устанавливать новые коммерческие отношения с другими странами-поставщиками орехов, основными из которых являются Китай, Турция, Иран, Чили, ОАЭ, Индия, Бразилия и Аргентина. Сложившаяся ситуация привела к росту закупочных, и, соответственно, розничных цен, что в свою очередь способствовало снижению

потребительского спроса на орехи. Желание производителей орехов повысить объемы продаж в России спровоцировало закупку более дешевых партий орехоплодных, с более низким уровнем качества и более мелкого размерного калибра.

Объемы производства орехов в России ежегодно не превышают 20 тыс. тонн. Сложившаяся ситуация на российском рынке орехов привела к мобилизации отечественного бизнеса и при поддержке Министерства сельского хозяйства Российской Федерации началась активная работа по восстановлению ореховых садов на территории Российской Федерации. В России имеются необходимые почвенно-климатические условия, развитый внутренний рынок и высокий потребительский спрос на орехи, это обусловливает привлекательность и перспективы развития орехового бизнеса. В настоящее время разрабатываются и внедряются промышленные проекты по производству грецкого ореха, фундука и пекана в Южных регионах России, районах Северного Кавказа и в Белгородской области. Развитие этого бизнеса позволит осуществить политику импортозамещения в области производства качественных и конкурентоспособных отечественных орехов.

Многие эксперты по вопросам здорового питания сходятся во мнении, что самый полезный орех – грецкий. Исследователи установили, что в грецких орехах присутствует самое высокое содержание полиненасыщенных жирных кислот по сравнению с другими видами орехов, грецкие орехи также содержат большое количество антиоксидантов, полифенолов и других биологически активных веществ. Высокая физиологическая ценность грецких орехов обусловила рост их потребления в Росси более чем на 11 % за последние 2 года. Значительная пищевая ценность таких «суперпродуктов», как грецкие орехи, сопряжена с риском активизации окислительных процессов на любом этапе товародвижения.

Грецкие орехи относятся к продуктам, наиболее подверженным риску окислительной порчи на этапах хранения, транспортирования и реализации. При этом нужно учитывать, что конкретные ботанические сорта, выращенные в разных географических регионах, имеют индивидуальный химических состав, определяющий интенсивность протекающих окислительных процессов, поэтому орехи разных партий имеют различный потенциал лежкоспособности. Отсутствие системы прослеживаемости закупаемых партий орехов на этапах производства, логистики и реализации, а также отсутствие объективных методов оценки потенциального уровня лежкоспособности, приводит к некорректному установлению сроков годности грецких орехов, и как следствие, в торговых сетях реализуется более 30 % грецких орехов с признаками прогорклости. Поэтому, важной задачей при организации товародвижения и реализации орехов является, в первую очередь, разработка методики определения сроков годности конкретной партии грецкого ореха в зависимости от исходных значений физико-химических параметров, и определение возможности и необходимости увеличения сроков

годности орехов. Разработка методов обоснования сроков годности пищевой продукции является одним из направлений реализации задач Стратегии повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 года (утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 29.06.2016 г. № 1364-р).

Степень разработанности темы исследования. Исследования, посвященные изучению сроков годности пищевых продуктов и возможности их увеличения, проведены многими отечественными и зарубежными учеными, в частности: Корненой Е.П., Калманович С.А., Касьяновым Г.И., Церевитиновым Ф.В., Григорьевой Р.З., Васильевой Л.И., Полянским К.К., Черняк М.И., Alasalvar C., Vallejo-Cordoba B., Lee S.-Y., Laleye L.C. и др. Также широко известны исследования по анализу физико-химических изменений состава орехоплодных в процессе хранения, которые были проведены: Сперанским В.Г., Страховой С.А., Анточий О.В., Скокан Л.Е., Голубкиной Н.А., Берзеговой А.А., Grosso N.R., Martinez M.L., Çağlarirmak N., Amaral J.S., Savage G.P. и другими.

Цели и задачи исследования. Целью диссертационной работы является разработка метода определения сроков годности партий грецких орехов и обоснование технических решений, направленных на увеличение их сроков годности. Для достижения цели исследования были поставлены следующие задачи:

- провести мониторинг качества грецких орехов, реализуемых в розничных торговых предприятиях, и установить соответствие заявленного производителем срока годности орехов и реального уровня их лежкоспособности;

- изучить динамику ферментативных и неферментативных гидролитических и окислительных процессов, протекающих в грецких орехах при различных температурных режимах хранения;

- обосновать оптимальные температурные режимы процесса ускоренного хранения грецких орехов для прогнозирования сроков годности;

- установить значения критериев, характеризующих интенсивность окислительных процессов, протекающих в грецких орехах при хранении, для объективного определения сроков годности обезличенных партий орехов;

- провести сравнительную оценку эффективности использования обработки ядер грецких орехов электромагнитным полем самогенерирующегося разряда и четырьмя видами натуральных антиоксидантов с целью стабилизации окислительных процессов;

- установить оптимальные режимы и условия для обработки орехов с целью увеличения их сроков годности;

- разработать методику прогнозирования срока годности грецких орехов;

- разработать математическую модель и программное обеспечение, позволяющие

прогнозировать сроки годности грецких орехов и оптимизировать параметры их обработки для достижения желаемого срока годности в зависимости от исходных значений физико-химических показателей окислительной порчи.

Научная новизна. Выявлена зависимость активности окислительных и гидролитических процессов, протекающих при хранении в грецких орехах, от температуры хранения. Установлена зависимость между массовой долей аскорбиновой кислоты в грецких орехах, активностью фермента полифенолоксидазы и активизацией образования темноокрашенных соединений – флобафенов, которые вызывают потемнение пленки и ядра орехов и появление неприятных вкусовых и ароматических ощущений.

Установлено, что резкое снижение содержания токоферолов, главным образом за счет снижения содержания γ-токоферолов, является свидетельством завершения индукционного периода и сопровождается появлением признаков окислительной порчи во вкусе и запахе. Установлены критерии оценки окислительной стабильности липидов грецких орехов при хранении и диапазоны критических значений показателей потенциальной лежкоспособности грецких орехов (перекисного, тиобарбитурового чисел, содержания конъюгированных диенов, пропаналя и гексаналя).

Научно обоснованы наиболее эффективные технические решения, позволяющие увеличить сроки годности грецких орехов. Разработана методика определения прогнозируемого срока годности грецких орехов. Разработаны математическая модель и программное обеспечение для определения необходимого режима обработки грецких орехов антиоксидантом дигидрокверцетином в зависимости от исходных значений перекисного, тиобарбитурового чисел и содержания конъюгированных диенов.

Теоретическая и практическая значимость работы. Установлена корреляционная зависимость между органолептическими и физико-химическими показателями качества грецких орехов при хранении, характеризующими их окислительную стабильность. Впервые рекомендованы для использования в качестве критериев потенциальной лежкоспособности и для прогнозирования сроков годности промышленных партий грецкого ореха критические значения показателей окислительной порчи: перекисного числа, тиобарбитурового числа, содержания конъюгированных диенов, пропаналя и гексаналя. Выявлена математическая зависимость сроков годности ядер грецких орехов от их исходного качества и температуры хранения.

Научно обоснован и рекомендован оптимальный температурный режим для ускоренного хранения грецких орехов, позволяющий прогнозировать окислительную стабильность. Предложено использовать показатель снижения содержания γ-токоферолов в 2 раза в течение 10 суток хранения при 55 °С как критерий, характеризующий окончание индукционного периода. Доказана эффективность применения дигидрокверцетина в качестве натурального

антиоксиданта при хранении грецких орехов. Разработана методика определения прогнозируемых остаточных сроков годности грецких орехов и программа для ЭВМ, позволяющая рассчитывать срок годности обезличенных партий грецких орехов, которая может быть использована производителями для определения обоснованных сроков годности орехов. Результаты исследований внедрены в производственную деятельность ООО НПКФ «ДЕКОСТ».

Методология и методы исследования. При проведении исследования использовались стандартные, модифицированные и специально разработанные методы.

Положения, выносимые на защиту. На защиту выносятся следующие положения:

- совокупность результатов исследования закономерностей динамики окислительных и гидролитических процессов, протекающих в модельном образце грецких орехов сорта «Урожайный» при различных температурных режимах хранения;

- результаты изучения динамики органолептических и физико-химических показателей окислительной стабильности образцов грецких орехов различных производителей при разных температурных режимах хранения;

- совокупность критериев окислительной порчи грецких орехов, которые используются для прогнозирования сроков годности обезличенных партий грецкого ореха при реализации в розничной торговой сети;

- обоснование температурных режимов ускоренного хранения грецких орехов;

- методика определения сроков годности грецких орехов в зависимости от их исходного качества;

- результаты определения эффективности применения коммерческих препаратов натуральных антиоксидантов и физической обработки грецких орехов с целью повышения окислительной стабильности липидов ядер грецких орехов при хранении;

- математическая модель определения необходимого режима обработки грецких орехов антиоксидантом дигидрокверцетином с целью увеличения их сроков годности.

Степень достоверности и апробация результатов. Исследования проводились на протяжении 4 лет (2014-2017 гг.). Достоверность полученных результатов определялась методами математической обработки с помощью программного обеспечения Statistica Version 10. Основные результаты исследований обсуждены и доложены на XV ежегодной международной молодежной конференции ИБХФ РАН-ВУЗы «Биохимическая физика» (ФГБУН Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН, г. Москва, 24-26 октября 2016 года), Международной научно-практической конференции «Товарный менеджмент: экономический, логистический и маркетинговый аспекты» (Воронежский филиал ФГБОУ ВО «РЭУ им. Г.В. Плеханова», г. Воронеж, 21-22 апреля 2016 г.), VI Межведомственной научно-практической конференции «Товароведение, общественное питание и технология хранения

продовольственных товаров» (ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств», ФГБУ Научно-исследовательский институт проблем хранения Росрезерва, г. Москва, 24-25 апреля 2014 г.), III Международной научно-практической конференции «Инновационные пищевые технологии в области хранения и переработки сельскохозяйственного сырья» (Краснодарский научно-исследовательский институт хранения и переработки сельскохозяйственной продукции – филиал ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия», г. Краснодар, 23-24 мая 2013 г.).

Публикации. По результатам диссертационной работы опубликовано 20 научных работ, в том числе 5 публикаций в журналах, входящих в перечень рецензируемых научных изданий. Получено свидетельство о регистрации программы для ЭВМ «Walnuts Shelf Life» № 2017661298 от 09.10.2017 г.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, обзора литературы, экспериментальной части, выводов и рекомендаций, списка литературы и приложений. Содержание работы изложено на 215 страницах машинописного текста, в том числе работа содержит 38 рисунков, 58 таблиц и 285 источников литературы, в том числе 138 зарубежных источников.

ГЛАВА 1 ХАРАКТЕРИСТИКА ПИЩЕВОЙ ЦЕННОСТИ И ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ОРЕХОПЛОДНЫХ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ РИСКОВ ОКИСЛИТЕЛЬНОЙ ПОРЧИ ОРЕХОПЛОДНЫХ НА ЭТАПАХ ТОВАРОДВИЖЕНИЯ

1.1 Анализ современных тенденций развития рынка орехоплодных в России и мире

Орехи во всем мире пользуются все возрастающей потребительской популярностью. Наиболее популярными среди потребителей являются орехи – арахис, грецкие орехи, фисташки, миндаль, кешью, фундук, пекан, кедровые орехи и бразильский орех [88, 95, 245, 263]. В связи появлением исследований, доказывающих пользу потребления орехов, индустрия производства орехов стала одним из самых эффективных международных видов бизнеса. Мировая тенденция, связанная с увеличением объемов потребления натуральных пищевых продуктов, богатых полноценными белками и растительными жирами с высоким содержанием полиненасыщенных жирных кислот, а также результаты новых исследований о пользе орехов, полученные в ведущих университетах мира, привели к увеличению объемов потребления орехов [126].

Орехи занимают особую нишу в ряду физиологически активных, сбалансированных продуктов питания. При этом химический состав орехоплодных значительно варьируется в зависимости от места и условий произрастания, технологии возделывания (на поливных или неполивных площадях), времени сбора урожая, методов сушки, условий хранения и ботанических сортов [263].

Общая площадь под посадки орехоплодных в мире приближается к 50 млн га и имеет постоянную тенденцию к увеличению. Основные площади заняты орехами «десертного назначения», из которых преобладают арахис и кокос (51 и 22 % соответственно). В последние годы арахис стал наиболее дешевой и востребованной снэковой продукцией [255]. Лидерами по объемам производства арахиса являются Китай, Индия и Нигерия. Основными поставщиками кокосовых орехов являются Индонезия, Индия и Филиппины.

На основании маркетинговых исследований с учетом факторов спроса, потребления, климатических условий и других показателей производство орехоплодных в мире на сезон 2018 г. прогнозируют в следующих объемах (млн тонн): миндаль – 1,25; грецкие орехи – 0,89; кешью – 0,75; фисташки – 0,61; фундук – 0,48; пекан – 0,13; макадамия – 0,05; кедровые орехи – 0,02; бразильские – 0,01.

Рост мирового производства орехов связан с постоянным увеличением площадей под орехоплодные в основных странах производителях. Плантации под миндальные орехи в 2018 г.

увеличиваются на 15 тыс. га в Австралии. Площадь посадок грецких орехов в Чили планируется увеличить дополнительно на 10 тыс. га. В США на 12 тыс. га увеличились площади под фундук, постоянное увеличение площадей под фундук происходит в Грузии и Италии. Регулярно обновляются посадки макадамии, в т. ч. в Южной Африке площади увеличились на 3,5 тыс. га. К 2020 г. в Китае планируется увеличение плодоносящих плантаций почти до 350 тыс. га. Посадки фисташек в Калифорнии и Турции ежегодно увеличиваются в среднем на 7 %. Постоянно происходит увеличение площадей под производство арахиса, в т. ч. в США посадки возрастут на 24 тыс. га.

На рынок России поставки орехоплодных в основном осуществляют Аргентина, Бразилия, Индия, Никарагуа, США, Украина (до 2015 года), Турция, Китай, Азербайджан, Иран, Вьетнам. При этом многие страны постепенно внедряются на российский рынок и оказывают конкуренцию традиционным поставщикам. Россия также и сама является производителем некоторых видов орехоплодных, тем не менее, более 90 % реализуемой продукции является импортной.

На мировом рынке основными поставщиками фундука является Турция (около 70 % мирового производства фундука), Италия, США и Испания [89]. Фисташки поставляются в основном из Ирана и США (штат Калифорния) – объем поставок ежегодно составляет несколько десятков тысяч тонн [245]. По поставкам арахиса лидируют Аргентина, Бразилия, Индия, Никарагуа и США [283]. Миндаль поставляют США, Чили, Турция, ОАЭ и Китай. Кешью импортируется в основном из Вьетнама [255].

Мировой объем производства орехоплодных по данным Министерства сельского хозяйства США (United States Department of Agriculture) составляет ежегодно порядка 3,5-4 млн тонн. Наибольшее производство орехоплодных приходится на миндаль – в 2016-2017 году объем производства составил 1,1 млн т [269], за ним в порядке уменьшения объемов производства следуют: грецкий орех с объемом производства 850 тыс. т, фисташки – 700 тыс. т, кешью – 700 тыс. т, фундук – 400 тыс. т, орех пекан – 120 тыс. т, макадамия – 40 тыс. т, бразильский орех – 25 тыс. т и кедровый орех – 22 тыс. т. [253, 264].

Основными поставщиками грецкого ореха являются Китай (около 500 тыс. т), США (около 310 тыс. т), Иран, Турция (130 тыс. т), Украина, Румыния, Франция (37 тыс. т) и Индия [272]. Наращивают темпы производства грецкого ореха Чили и Аргентина. С 1990-х годов площади произрастания грецкого ореха увеличились вдвое по всему миру. Китай, США и Иран производят более 70 % мирового производства грецкого ореха [205].

Политические события 2015-2017 гг. привели к негативной тенденции – к значительному росту цен на орехоплодные за последний период – до 70 %. По данным Euromonitor International, увеличение стоимости фасованных орехов в розничных сетях в 2015 г. достигло 39 %. Орехи в

период кризиса в России стали лидерами по уровню увеличения розничных цен на продукты питания. В результате сложившейся ситуации произошло снижение потребления орехов в России более чем в 7 раз с 25 тыс. тонн в 2013 г. до 3,5 тыс. тонн в 2016 г.

В этот период произошла смена основных импортеров орехов. В 2013-2014 гг. основными поставщиками миндаля в Россию были Америка, Испания и Австралия, в результате эмбарго в 2015 году увеличились поставки из Чили и ОАЭ со 130 тонн до 1789 тонн и почти на 200 % увеличился импорт из Китая и Турции [269]. В 2015 г. импорт грецких орехов сократился почти на 30 %, объем поставок составил всего 735 тонн. Ушла с рыка Украина, основная доля импорта пришлась на Чили, Китай и Турцию.

На рынке фисташек, в связи с уходом основного импортера – США (50 % импорта), основные закупки производились в Иране и Китае, но восстановить в полном объеме поставки фисташек надлежащего качества пока не удается [245]. Аналогичная ситуация сложилась на рынке кешью, объем закупок которых снизился почти в 2 раза. Основным поставщиком кешью на российский рынок (более 90 %) является Вьетнам [255].

Единственный вид орехов, претерпевших минимальные колебания на рынке – это арахис, объем импорта которого увеличился за данный период времени на 2-3 % в противоположность фундуку, падение объемов потребления которого составило 80 % [275]. На смену США на рынок пришли Аргентина и Бразилия, увеличившие объемы поставок на 60 и 90 % соответственно. При этом снизились поставки арахиса из Индии и Никарагуа на 30-50 %.

В период 2016-2017 гг. происходит медленная стабилизация рынка орехов, начали постепенно увеличиваться объемы закупок орехов [205]. В настоящее время дефицит различных видов орехов на рынке отсутствует. Для снижения роста цен производители начали закупать продукцию более низкого качества – более дешевые сорта, низких стандартов качества, более мелких размерных калибров, орехи, предназначенные для кондитерской и других отраслей пищевой промышленности. В результате снижения оборота орехов в торговых сетях и увеличения продолжительности их хранения увеличились случаи снижения вкусовых характеристик [177].

Сложившаяся ситуация на отечественном рынке орехов привела к мобилизации отечественного бизнеса по восстановлению ореховых садов на территории Российской Федерации. Бизнес, направленный на производство орехов, имеет значительные перспективы развития. Первые промышленные урожаи обычно получают через 5-6 лет после закладки сада, а срок окупаемости вложенных средств в создание посадок на площади 100 га может достигать 7-10 лет. Однако, важным положительным фактором является длительный период промышленной эксплуатации ореховых насаждений, который может достигать 100 лет. В России имеются необходимые почвенно-климатические условия, развитый внутренний рынок и высокий

потребительский спрос на орехи, это обусловливает привлекательность и перспективы развития орехового бизнеса в России [128].

В настоящее время считается наиболее рентабельным выращивание в России грецких орехов и фундука. Данный бизнес в благоприятных почвенно-климатических условиях России при использовании современных агротехнологий и новых районированных сортов орехов, требует минимальных инвестиций и позволит получить высокие доходы через 5 лет после создания орехового сада. На протяжении последних лет начали разрабатываться и внедряться промышленные проекты по производству грецкого ореха, фундука и пекана в Южных регионах России и в Белгородской области. В 2016 г. создан кластер по производству грецких орехов и фундука в Белгородской области, планируемые объемы производства грецкого ореха составляют не менее 156 тонн/год и фундука – 76 тонн/год. Основными производителями орехов стали кооперативные и фермерские хозяйства [133].

Активно ведут промышленное выращивание фундука и грецкого ореха в Ставропольском и Краснодарском краях и районах г. Сочи. Восстанавливаются старые сады и производятся новые посадки. Под орехоплодными культурами в настоящее время занято около 2 тыс. га. Уникальный питомник ореховых культур был создан в 2016 г. в Краснодарском крае. В питомнике собраны уникальные сорта и технологии для промышленного выращивания орехов.

Грецкий орех и фундук являются перспективными культурами для выращивания в условиях Северного Кавказа. Низкая эффективность работ по выращиванию орехов в предыдущие периоды в этом районе объясняется преобладанием семенных посадок, что определяет генетическую разнокачественность урожая. В этой связи на Северном Кавказе ведутся активные работы по насаждению сортовых садов с использованием современных агротехнологий, что позволит повысить урожайность, качество и конкурентоспособность отечественных орехов.

В северной Осетии в 2016 г. начали промышленное выращивание фундука. На северо-западе Чиколы была заложена одна из самых крупных плантаций в России (100 га), площадь которой планируется расширять в ближайшие годы. Для посадки были закуплены в Италии лучшие сорта саженцев фундука для промышленного производства, которые дают калиброванные плоды с высоким содержанием жира. В 2015 г. в Ингушетии началась промышленная посадка сортовых саженцев грецких орехов. В настоящее время площадь посадок занимает 60 га. Закуплено оборудование для послеуборочной обработки орехов. Потенциалом для выращивания орехоплодных в России обладают следующие районы: Псковская, Смоленская, Калужская, Тульская, Брянская и Орловская области, Поволжье, Кубань и Кавказ [133].

Как видно из представленных данных, орехи во всем мире являются востребованным и рентабельным товаром. Выращивание орехов в России стало одним из активно развивающихся

видов бизнеса. Значительные площади сельскохозяйственных угодий, широкий климатический потенциал, использование новых технологий и районированных сортов создают необходимые условия, способствующие отечественным производителям и позволяющие им стать крупными игроками на мировом рынке. Развитие этого бизнеса позволит осуществить политику импортозамещения в области производства грецких орехов, фундука, миндаля и пекана на отечественном рынке орехов.

Грецкие орехи (*Juglans regia* L.) являются одним из самых популярных видов орехоплодных в России. Также грецкие орехи представляют интерес для экономики страны – грецкие орехи являются источником масла, их можно употреблять в естественном виде, их можно использовать в качестве компонентов других продуктов, в том числе функциональных, за счет высокого содержания ненасыщенных жиров, белков, витаминов и минеральных веществ. Грецкие орехи являются натуральной здоровой богатой питательными веществами пищей.

1.2 Характеристика потребительских свойств и особенностей химического состава орехоплодных

С древних времен считается, что орехи активизируют физическую и умственную активность, способствуют долголетию, обеспечивают энергетический баланс в организме человека. Согласно заявлениям Управления по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов Министерства здравоохранения и социальных служб США, ежедневное употребление 50 грамм орехов может сократить риск возникновения сердечной недостаточности [192]. Согласно научным исследованиям Dietary Guidelines Advisory Committee (США) орехами, оказывающими наилучшее влияние на здоровье человека, являются миндаль, грецкий орех и фисташки [245, 269]. Эпидемиологические исследования показали, что присутствие орехов в рационе питания человека оказывает значительную защиту в отношении ишемической болезни сердца. Особенно по своей физиологической значимости ученые выделяют ядра грецких орехов. В частности, исследования показали, что потребление грецких орехов значительно изменяет липопротеиновый профиль и снижает уровень общего холестерина в сыворотке крови [271].

Сахара орехоплодных в основном представлены сахарозой, фруктозой, глюкозой, рафинозой, стахиозой и инозитолом [272]. Также орехоплодные в своем составе содержат органические кислоты, такие как щавелевая, яблочная, лимонная, молочная и уксусная кислоты. Жирнокислотный состав грецкого ореха представлен в основном неполярными липидами –

96,9 % (ацилглицеролы, жирные кислоты, стеролы, эфиры стеролов) и на 3,1 % полярными липидами (сфинголипидами 73,4 % и фосфолипидами 26,6 %) [124, 190].

Основным компонентом масла грецкого ореха являются триглицериды (их содержание составляет 980 г/кг масла), среди них тринолеин (37,7 %), дилинолеол-олеол-глицерол (18,5 %) и дилинолеол-линоленол-глицерол (18,4 %). Согласно исследованиям [165], триглицеридный состав может являться признаком идентификации ореховых масел, ввиду своей уникальности для каждого типа масел. Триглицеридный состав масла зависит от его жирнокислотного состава [158]. Жирнокислотный состав, и соответственно состав триглицеридов, незначительно различается у масла одного вида из-за влияния таких факторов, как ботанический сорт, условия произрастания, климат, тип почвы и даже возраст растения [272].

Грецкие орехи также содержат в своем составе флавоноиды и фенольные вещества, которые могут оказывать благоприятное действие на организм человека за счет их антиоксидантных, антиканцерогенных, противовоспалительных и антимутагенных свойств [178, 186, 272].

В грецких орехах в большом объеме присутствуют γ-токоферолы, которые являются гомологом витамина Е. Кроме того, токоферолы способствуют торможению окисления жиров в орехах в процессе хранения и действуют в качестве природных антиоксидантов, α- и γ-токоферолы имеют различную антиоксидантную активность [197, 254]. Большинство исследований подтверждают большую антиоксидантную активность α-токоферолов [175].

По сравнению с другими орехами, грецкие орехи имеют самое высокое содержание полифенолов (эллаговая и галловая кислоты) и токоферолов (в основном витамин Е) [250]. Также в грецких орехах находятся эллаготанины и другие вещества, обладающие антиоксидантной активностью, такие как мелатонины [161].

В таблице 1.1 приведен химический состав различных орехоплодных. Как видно из таблицы 1.1, наибольшей массовой долей жира обладают бразильский орех, макадамия, пекан и грецкий орех. По содержанию белка лидируют миндаль, кешью, фисташки и арахис. Наибольшим наличием влаги характеризуются миндаль, пекан и арахис.

Жирнокислотный состав масла орехоплодных имеет важное значение с точки зрения пищевой и биологической ценности (соотношение ω-3 и ω-6 жирных кислот), содержания моно- и полиненасыщенных жирных кислот (способствуют связыванию и выведению из организма липопротеидов низкой плотности), вкусовых и ароматических характеристик, текстуры, а также с точки зрения сроков годности орехоплодных (окисление моно- и полиненасыщенных жирных кислот) [267]. Потребление полиненасыщенных жирных кислот сокращает риск развития сердечно-сосудистых заболеваний и атеросклеротических повреждений, потребление омега-3 кислот, которые обладают антиканцерогенным эффектом, позволяет снизить риск развития

ишемической болезни сердца, а также поддерживает нормальное развитие мозга, глаз и нервной системы человека [219, 236].

Талица 1.1 – Химический состав орехоплодных

Орехоплодные	**Массовая доля жира, %**	**Массовая доля белка, %**	**Массовая доля влаги, %**	**Массовая доля сахаров, %**	**Массовая доля золы, %**
Миндаль	40,4-47,5	18,5-20,1	8,9-9,5	2,0-2,3	2,4-2,7
Бразильский орех	62,7-71,4	11,9-14,8	2,9-3,3	0,5-0,8	3,0-3,5
Кешью	39,7-48,3	17,3-19,5	4,4-4,9	3,7-4,2	2,5-3,1
Фундук	58,2-64,5	13,1-15,4	3,9-4,2	1,4-3,6	2,0-2,4
Макадамия	61,2-68,9	6,4-9,3	1,9-2,3	1,0-2,2	1,1-1,3
Пекан	64,2-66,7	6,5-8,0	7,0-7,5	1,3-1,9	1,6-2,0
Кедровый орех	58,7-65,5	11,1-14,7	1,3-1,7	1,2-2,1	2,2-2,7
Фисташки	43,1-50,2	17,8-20,6	4,4-5,9	1,1-2,2	2,8-3,5
Грецкий орех	60,3-74,5	12,2-16,7	2,7-4,4	2,1-3,8	1,8-2,1
Арахис	40,9-45,8	19,6-22,8	6,3-7,8	0,3-1,5	1,4-1,9

Источник: составлено автором по данным [14, 82, 92, 93, 123, 255, 257, 263, 264, 269, 272, 275, 283]

В таблице 1.2 представлена обобщающая характеристика жирнокислотного состава различных видов орехов. Как видно из таблицы 1.2, в масле большинства орехоплодных преобладают мононенасыщенные жирные кислоты, а полиненасыщенные жирные кислоты, подвергающиеся наиболее интенсивному процессу окисления, преобладают в бразильском, кедровом и грецком орехе, при этом грецких орех характеризуется наибольшим их содержанием (содержание линолевой кислоты с двумя двойными связями составляет порядка 57-62 % от общего содержания жирных кислот).

Данная особенность жирнокислотного состава грецкого ореха, которая обусловливает его наиболее быструю окислительную порчу по сравнению с другими видами орехов, послужила основанием для проведения дальнейших исследований в работе именно на образцах грецкого ореха. Общее содержание жиров в грецком орехе по различным данным колеблется от 57 до 74 %.

Среди жирных кислот преобладающими в маслах грецких орехов являются олеиновая (С 18:1) и линолевая (С 18:2) кислоты. Согласно исследованиям, варьирование жирнокислотного состава обусловлено генетическими факторами и факторами окружающей среды (год производства, география и условия произрастания и т.п.) [55, 252]. Грецкие орехи богаты омега-6 и омега-3 полиненасыщенными жирными кислотами. Их соотношение составляет 4:1.

Таблица 1.2 – Жирнокислотный состав орехоплодных, % от всех жирных кислот

Жирная кислота	Миндаль	Бразильский орех	Кешью	Фундук	Макадамия	Пекан	Кедровый орех	Фисташки	Грецкий орех	Арахис
Насыщенные жирные кислоты, в том числе	**7,95-9,87**	**21,69-29,51**	**19,34-22,79**	**8,40-9,89**	**16,37-20,22**	**7,39-9,15**	**22,59-25,12**	**13,44-14,65**	**9,43-11,86**	**12,09-13,97**
C 6:0	0,00	0,12-0,16	0,01-0,02	0,00	0,00	0,00	0,12-0,15	0,02-0,03	0,29-0,35	0,00
C 8:0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
C 10:0	0,00	0,04-0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07-0,08	0,02-0,03	0,04-0,05	0,00
C 11:0	0,00	0,09-0,15	0,04-0,05	0,00	0,00	0,00	0,11-0,16	0,08-0,10	0,21-0,25	0,00
C 12:0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07-0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
C 14:0	0,05-0,06	0,04-0,05	0,02-0,03	0,02-0,03	0,82-1,07	0,04-0,05	0,00	0,09-0,12	0,02-0,03	0,00
C 15:0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
C 16:0	6,58-7,76	12,84-18,11	9,70-11,80	5,38-6,17	8,12-9,34	5,10-6,42	4,92-5,54	12,12-12,82	6,32-8,14	5,90-6,71
C 17:0	0,04-0,05	0,06-0,10	0,10-0,13	0,04-0,05	0,00	0,04-0,05	0,04-0,05	0,04-0,05	0,04-0,05	0,07-0,08
C 18:0	1,24-1,94	8,24-10,48	8,67-9,82	2,85-3,49	3,93-5,82	2,11-2,50	2,11-2,73	0,87-1,24	2,41-2,84	1,96-2,24
C 20:0	0,04-0,06	0,22-0,34	0,59-0,67	0,11-0,15	2,45-2,73	0,10-0,13	15,05-16,21	0,09-0,11	0,07-0,10	0,93-1,09
C 21:0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07-0,09	0,04-0,05	0,00	0,00
C 22:0	0,00	0,04-0,07	0,10-0,12	0,00	0,69-0,81	0,00	0,10-0,11	0,07-0,10	0,03-0,05	2,07-2,40
C 24:0	0,00	0,00	0,11-0,15	0,00	0,29-0,35	0,00	0,00	0,00	0,00	1,16-1,45
Мононенасыщенные жирные кислоты, в том числе	**59,49-64,26**	**27,00-29,44**	**59,65-63,79**	**79,09-84,42**	**73,30-78,96**	**62,79-67,36**	**26,34-28,04**	**50,35-54,16**	**14,48-20,40**	**78,48-84,56**
C 14:1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
C 16:1	0,56-0,78	0,25-0,32	0,50-0,59	0,14-0,17	17,59-19,02	0,07-0,08	0,10-0,11	1,08-1,34	0,05-0,09	0,07-0,08
C 18:1	58,93-63,48	26,75-29,12	59,15-63,20	78,95-84,25	55,51-59,70	62,72-67,28	26,24-27,93	49,27-52,82	14,26-20,09	78,28-84,33
C 20:1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17-0,22	0,00
C 22:1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20-0,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,13-0,15
Полиненасыщенные жирные кислоты, в том числе	**27,31-31,20**	**43,76-47,35**	**16,17-18,60**	**7,34-8,08**	**3,42-4,35**	**23,76-25,47**	**45,04-52,45**	**33,16-36,16**	**69,15-75,67**	**4,99-5,94**
C 18:2	27,21-31,08	43,59-47,16	15,88-18,27	7,12-7,83	1,35-1,72	22,68-24,13	43,84-50,73	32,43-35,28	57,46-62,50	3,47-4,01
C 18:3	0,10-0,12	0,17-0,19	0,29-0,33	0,22-0,25	2,07-2,63	1,08-1,34	1,20-1,72	0,73-0,88	11,69-13,17	1,52-1,93

Источник: составлено автором по данным [3, 59, 155, 159, 164, 168, 186, 192, 211, 214, 236, 251, 271]

Доказано, что омега-3 жирные кислоты предотвращают развитие сердечно-сосудистых заболеваний, в том числе выполняют функции антиаритмические, гиполипидемические и антитромботические [155]. Оптимальное соотношение омега-6 и омега-3 находится на уровне от 1:1 до 4:1. Нарушение такого баланса жирных кислот, зачастую в пользу омега-6 жирных кислот, приводит к возникновению множества заболеваний, таких как опухоли, диабет, ожирение и др. [219]. Уникальное соотношение омега-6 и омега-3 жирных кислот в составе грецкого ореха доказывает его физиологическую ценность.

Белки орехоплодных считаются полноценными, т.к. содержат в своем составе все незаменимые аминокислоты. Аминокислотный состав белка орехоплодных представлен в таблице 1.3. В белке орехоплодных наибольшую долю занимают гидрофильные аминокислоты (аспарагин, глицин, лизин, гистидин, аргинин, серин, треонин). Их суммарная массовая доля варьируется от 37 до 45 % от общего содержания аминокислот в зависимости от вида орехоплодных [3]. Кислые аминокислоты (аспарагин и глутамин) содержатся в белке орехов в меньшем количестве (от 28 до 36 %). Содержание основных аминокислот составляет от 16 до 21 %. Содержание гидрофобных аминокислот (валин, лейцин, изолейцин, пролин, метионин и фенилаланин) варьируется от 9 до 12 % [72, 167].

Нами был рассчитан аминокислотный скор для некоторых видов орехов. Полученные данные представлены в таблице 1.4. На основе анализа аминокислотных скоров орехоплодных было установлено, что лизин, треонин и метионин и цистеин для большинства орехоплодных являются первыми лимитирующими аминокислотами (Таблица 1.5). Орехи богаты аргинином, глутамином и аспарагином. Такой белковый состав в сочетании с жирнокислотным составом характеризует орехи как полноценную и сбалансированную пищу.

Некоторые авторы отмечают, что отличительной особенностью орехоплодных по сравнению с зерновыми являются лучшая сбалансированность по аминокислотному составу и как следствие, лучшая усвояемость белков организмом человека [258]. Белки грецкого ореха представлены в основном глютелинами (70,1 % всех белков), глобулинами (17,6 % всех белков), альбуминами (6,8 %), проламинами (5,5 %). Белки грецкого ореха лучше всего растворяются в щелочах и хуже всего в спиртах. Минимальная растворимость белка грецкого ореха наблюдается при значении pH равного 4 (2,17 % белков растворяется). Растворимость значительно растет при значениях pH менее 3 и более 6. При значении pH равного 8 растворимость белков составляет более 90 %.

Таблица 1.3 – Аминокислотный состав орехоплодных, % от всех аминокислот

Аминокислоты	**Миндаль**	**Бразиль-ский орех**	**Кешью**	**Фундук**	**Макада-мия**	**Пекан**	**Кедровый орех**	**Фисташки**	**Грецкий орех**	**Арахис**
Аспарагин	9,07-10,25	7,20-8,31	7,68-9,24	9,30-9,94	8,21-8,94	8,17-10,23	8,22-10,73	7,95-9,14	7,87-9,15	10,37-13,82
Глутамин	24,34-28,21	18,56-23,75	20,52-25,71	20,42-23,93	21,45-25,13	19,34-24,91	18,43-22,72	20,82-25,76	15,84-21,02	19,67-23,81
Серин	3,34-4,15	3,72-4,39	4,85-5,64	4,31-4,75	3,76-4,82	4,83-5,47	5,11-5,72	5,73-6,81	3,48-5,36	4,23-4,77
Глицин	6,12-7,20	4,61-5,27	4,10-4,76	4,32-4,86	4,24-5,30	4,34-4,95	4,24-5,08	4,25-4,62	3,70-4,92	5,64-6,83
Гистидин	2,85-3,14	2,32-2,80	2,51-3,09	2,72-2,94	2,29-2,76	2,23-2,84	2,02-2,33	2,28-2,45	1,82-2,43	2,35-2,69
Аргинин	8,92-12,48	11,50-14,69	9,23-9,87	12,51-14,04	10,45-13,94	11,37-13,49	13,64-15,37	8,67-9,51	11,15-13,81	9,67-12,81
Треонин	2,28-3,16	2,05-2,43	2,85-3,44	3,07-3,52	2,37-2,81	2,52-2,86	2,23-2,64	2,94-3,28	2,51-3,23	2,06-2,37
Аланин	4,12-5,34	3,82-4,61	4,03-4,82	4,55-5,13	4,02-4,85	4,87-5,61	4,76-5,21	4,51-5,37	3,57-4,74	4,10-4,82
Пролин	4,76-5,59	4,83-5,44	5,01-5,63	3,67-4,81	6,32-7,35	5,12-6,01	4,96-5,34	5,05-5,83	3,30-5,58	5,12-5,69
Валин	3,96-4,61	4,28-4,70	4,92-5,71	4,65-4,89	4,08-4,61	4,33-5,05	4,13-4,58	5,49-6,72	3,13-4,61	3,82-4,37
Метионин	0,73-0,92	8,42-9,57	2,13-2,52	1,54-1,92	2,01-2,63	2,31-2,74	2,65-2,98	1,54-2,08	1,01-2,13	1,17-1,59
Цистеин	0,22-0,34	0,75-0,82	0,49-0,53	2,34-3,02	0,74-0,83	0,46-0,58	0,62-0,75	0,42-0,57	0,38-0,51	0,32-0,37
Изолейцин	3,12-4,05	3,09-3,24	3,86-4,82	3,23-3,84	3,13-3,52	3,85-4,37	3,20-3,81	3,87-4,32	3,05-4,22	3,22-3,84
Лейцин	6,54-7,83	7,12-7,80	7,54-8,37	7,06-7,43	6,30-6,84	7,13-8,29	6,71-7,82	6,82-7,80	5,76-7,80	6,25-7,08
Фенилаланин	5,23-5,84	3,85-4,27	4,24-4,86	4,33-4,58	3,00-3,51	4,67-5,49	3,10-3,67	4,52-5,15	3,17-4,68	4,91-5,88
Тирозин	2,10-2,57	2,02-2,35	2,03-2,41	2,80-3,59	4,05-4,83	2,75-3,12	3,24-3,60	2,07-2,46	2,67-3,41	3,03-3,58
Лизин	2,94-3,49	2,76-3,31	4,30-5,13	2,73-2,98	3,73-4,16	3,01-3,34	3,13-3,52	4,29-4,60	2,01-2,91	3,43-4,20
Триптофан	0,65-0,80	0,62-0,74	1,22-1,58	0,32-1,01	0,52-0,60	0,48-0,57	0,74-0,86	0,77-0,85	0,42-0,67	0,71-0,78

Источник: составлено автором по данным [3, 59, 155, 159, 164, 168, 186, 192, 211, 214, 236, 251, 271]

Таблица 1.4 – Аминокислотный срок орехоплодных

Аминокислотный скор	Миндаль	Бразильский орех	Кешью	Фундук	Макадамия	Пекан	Кедровый орех	Фисташки	Грецкий орех	Арахис
Валин	103,62	129,40	109,80	94,90	91,01	89,46	100,88	120,29	118,26	84,31
Треонин	70,65	70,04	80,98	82,13	116,92	83,46	67,62	82,58	90,34	83,70
Метионин + цистеин	53,82	289,67	87,37	104,29	10,47	102,87	114,87	97,19	82,59	70,40
Изолейцин	105,98	96,72	100,19	98,55	97,96	91,64	98,69	110,93	114,98	87,30
Лейцин	100,93	114,34	100,78	102,20	108,34	93,51	103,38	112,69	107,94	91,85
Фенилаланин + тирозин	133,45	121,17	117,12	127,75	247,74	114,55	125,49	123,25	128,12	152,72
Лизин	55,67	64,27	81,55	66,37	4,59	57,53	71,77	107,56	53,75	64,40
Триптофан	98,91	106,72	130,11	109,50	84,69	101,46	80,41	113,11	111,69	96,25

Источник: составлено автором

Таблица 1.5 – Лимитирующие аминокислоты орехоплодных

Лимитирующая аминокислота	Миндаль	Бразильский орех	Кешью	Фундук	Макадамия	Пекан	Кедровый орех	Фисташки	Грецкий орех	Арахис
Первая	Метионин/цистеин	Лизин	Треонин	Лизин	Лизин	Лизин	Треонин	Треонин	Лизин	Лизин
Вторая	Лизин	Треонин	Лизин	Треонин	Метионин/цистеин	Треонин	Лизин	Метионин/цистеин	Метионин/цистеин	Метионин/цистеин
Третья	Треонин	Изолейцин	Метионин/цистеин	Валин	Триптофан	Валин	Триптофан	-	Треонин	Треонин
Отношение количества незаменимых аминокислот к общему содержанию аминокислот, %	27,8-27,9	33,2-35,2	33,7-33,9	28,2-28,7	26,7-27,7	29,8-30,8	28,0-28,4	32,4-32,9	28,1-29,9	27,5-28,4

Источник: составлено автором

В составе орехоплодных также присутствуют пищевые волокна, витамины (в основном витамин Е), минеральные и фенольные вещества (танины – галловая кислота, эллаговая кислота, эллагитанины), фитостеролы (в основном β-ситостерол) [68, 157]. Употребление орехоплодных позволяет достичь правильного и полноценного питания [122]. Исследователями показан противоопухолевый эффект грецких орехов благодаря наличию ω-3 жирных кислот, витамина Е, галловой кислоты, флавоноидов, каротиноидов, эллаговой кислоты и фитостеролов [161, 239].

Орехи богаты макро- и микроэлементами, особенно кальцием, магнием, фосфором и калием. Такой химический состав орехоплодных делает их полноценным пищевым продуктом, позволяющий обеспечить организм человека необходимыми для жизнедеятельности веществами. Содержание минеральных веществ и витаминов в орехоплодных представлены в таблицах 1.6 и 1.7 соответственно.

Таблица 1.6 – Содержание минеральных веществ в орехоплодных, мг/100 г

Минеральные вещества	**Миндаль**	**Бразильский орех**	**Кешью**	**Фундук**	**Макадамия**	**Пекан**	**Кедровый орех**	**Фисташки**	**Грецкий орех**	**Арахис**
Алюминий	0,4-0,5	1,5-1,7	0,1	0,4-0,5	1,4-1,6	0,3-0,5	1,3-1,5	1,3-1,5	1,1-1,2	1,3-1,5
Кальций	248,0-324,0	138,0-234,0	33,0-45,0	157,0-195,0	83,0-94,0	66,0-74,0	13,0-22,0	97,0-113,0	87,0-89,0	76,0-92,0
Медь	0,1-0,2	1,5-1,7	2,1-2,2	1,1-1,6	0,7-0,8	0,5-0,6	1,2-1,4	0,7-1,2	1,1-1,4	1,1-1,2
Железо	2,2-4,9	2,4-2,5	6,3-8,1	3,4-4,9	3,5-3,7	2,3-2,5	5,5-6,3	3,7-4,1	2,0-2,5	4,7-5,0
Магний	220,0-253,0	347,0-392,0	265,0-294,0	162,0-177,0	125,0-133,0	119,0-130,0	236,0-263,0	118,0-122,0	124,0-170,0	154,0-179,0
Марганец	1,8-1,9	1,3-2,5	1,2-1,6	4,1-5,8	3,9-4,1	2,8-3,1	7,9-10,2	2,2-3,8	2,5-2,9	1,7-1,9
Фосфор	451,0-493,0	583,0-648,0	482,0-533,0	303,0-355,0	178,0-195,0	251,0-293,0	537,0-608,0	455,0-498,0	315,0-333,0	349,0-375,0
Калий	672,0-739,0	483,0-524,0	562,0-647,0	681,0-735,0	348,0-374,0	385,0-412,0	518,0-649,0	985,0-1034,0	316,0-473,0	673,0-715,0
Натрий	5,7-9,4	2,4-3,7	11,5-15,9	3,1-3,3	4,3-5,2	0,1-0,2	1,8-2,2	0,9-1,3	6,9-7,8	17,5-22,6
Цинк	2,0-2,3	4,0-4,3	5,6-5,8	1,9-2,5	1,2-1,4	0,3-0,5	5,8-6,7	2,3-2,8	2,4-2,6	3,0-3,2

Источник: составлено автором по данным [23, 172, 174, 183, 189, 194, 206, 220, 235, 240, 257]

Орехи также богаты фитостеролами, которые, благодаря их структурной схожести с холестеролом, ингибируют его кишечную абсорбцию, соответственно снижая уровень общего холестерина и липопротеинов низкой плотности в плазме крови. Исследования показали, что фитостеролы могут оказывать защиту от онкологических заболеваний толстой кишки, груди и предстательной железы [159].

Содержание фитостеролов в масле грецкого ореха колеблется в пределах от 0,1 до

0,2 % от общего содержания масла (Таблица 1.8). Основные стерины грецкого ореха представлены β-ситостерином, δ^5-авенастерином и кампестерином. Согласно исследованиям, состав стеринов зависит от конкретного вида ботанического сорта [251].

Таблица 1.7 – Содержание витаминов в орехоплодных, мг/100 г

Витамины	**Миндаль**	**Бразильский орех**	**Кешью**	**Фундук**	**Макадамия**	**Пекан**	**Кедровый орех**	**Фисташки**	**Грецкий орех**	**Арахис**
Витамин Е (α-токоферол)	23,4-25,9	3,7-5,8	0,8-0,9	18,5-24,0	0,5-0,6	2,4-2,7	9,0-10,2	2,2-2,5	2,5-2,7	8,3-10,1
Тиамин (B1)	0,22-0,37	0,9-1,4	0,4-0,5	0,42-0,48	1,1-1,2	0,7-0,8	0,2-0,5	0,8-0,9	0,3-0,4	0,6-0,7
Рибофлавин (B2)	0,7-1,0	0,02-0,03	0,1-0,2	0,1-0,2	0,1-0,2	0,1-0,2	0,2-0,3	0,1-0,2	0,1-0,2	0,1-0,2
Ниацин (B3)	2,9-4,2	0,22-0,25	1,2-2,3	0,9-1,8	0,8-0,9	1,1-1,2	0,2-0,4	0,5-0,6	2,7-3,2	1,6-1,8
Пиридоксин (B6)	0,2-0,3	0,1	0,3-0,4	0,6-0,7	0,2-0,3	0,1-0,2	0,1-0,2	1,7-2,0	0,5-0,8	0,2-0,3
Аскорбиновая кислота (витамин С)	0,9-1,4	0,5-0,7	0,5-0,6	1,3-2,8	1,2-1,3	1,0-1,1	0,7-0,8	5,3-5,5	5,7-5,9	5,2-5,3

Источник: составлено автором по данным [172, 174, 183, 189, 194, 206, 220, 235, 257]

Таблица 1.8 – Содержание стеролов в масле грецкого ореха (мг/100 г масла)

	Грецкий орех 1	**Грецкий орех 2**
Холестерин	1,4±0,03	3,8±0,12
Кампестерин	8,6±0,20	8,1±0,17
Стигмастерин	0,5±0,07	0,6±0,07
Клеростерин	1,5±0,11	1,5±0,08
β-ситостерин	138,3±1,80	151,4±0,49
δ^5-авенастерин	7,3±0,11	13,3±0,01
δ^7-стигмастерин	0,7±0,05	0,9±0,01
δ^7-авенастерин	1,4±0,29	0,5±0,02
Всего	**159,0±5,00**	**179,6±0,73**

Источник: составлено автором по данным [159, 190]

Содержание токоферолов, согласно литературным данным, в различных видах орехоплодных, представлено в таблице 1.9. Как видно из таблицы 1.9, фундук имеет наибольшее содержание токоферолов, за ним следуют арахис, пекан, фисташки, грецкий орех, миндаль и бразильский орех. Среди токоферолов преобладает содержание α-токоферола в масле миндаля, фундука и фисташек, в то время как в маслах грецкого ореха,

пекана, арахиса и бразильского ореха преобладает содержание γ-токоферолов. β-токоферол встречается только в масле арахиса в небольших количествах [241]. В процессе хранения содержание токоферолов уменьшается, уровень снижения зависит от условий хранения.

Таблица 1.9 – Содержание токоферолов в маслах различных видов орехоплодных, мг/кг

Вид орехоплодных	**α-токоферол**	**γ-токоферол**	**δ-токоферол**	**β-токоферол**	**Общее содержание токоферолов**
Миндаль	95,2±0,8	6,8±0,2	-	-	**106,7±1,0**
Бразильский орех	5,9±0,5	60,7±0,7	8,4±0,2	-	**75,0±1,3**
Фундук	165,3±0,7	54,1±0,9	0,18±0,1	1,15±0,1	**219,4±1,3**
Пекан	6,9±0,3	162,3±0,7	-	-	**169,2±1,0**
Арахис	74,2±0,4	97,0±0,7	8,7±0,4	8,5±0,2	**188,4±0,9**
Фисташки	124,8±0,7	27,4±0,4	9,4±0,3	-	**161,6±1,1**
Грецкий орех	17,3±0,4	142,4±0,5	10,3±0,4	-	**170,0±1,0**

Источник: составлено автором по данным [154, 264]

Грецкие орехи являются источником витамина Е, который также служит и естественным (природным) антиоксидантом. Витамин Е (α-токоферол) – жирорастворимый антиоксидант фенольной природы [160]. Общее содержание фенольных веществ в грецком орехе составляет 0,9-1,1 мг/г. При этом грецкие орехи содержат 16 наименований полифенолов, причем 14 из них являются эффективными антиоксидантами [161].

Исследования показали, что температура хранения является основным фактором, влияющим на изменение содержания естественных антиоксидантов в орехах. Так, при хранении в течение 6 месяцев орехов в морозильных камерах при -18 °С содержание антиоксидантов практически не изменяется, хранение в охлаждаемых условиях при 2-4 °С провоцирует уменьшение содержания антиоксидантов на 10-15 % от их изначального содержания, а хранение при 20 °С способствует уменьшению содержания антиоксидантов в 2-4 раза в течение 6 месяцев.

Li и другими авторами проводились исследования по определению антиоксидантной активности стандартов различных токоферолов методом DPPH [226]. Метод DPPH (метод захвата свободных радикалов) основан на определении количества ингибированного радикала DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl). Антиоксидантная активность в данном методе выражается в EC_{50} - концентрации антиоксидантов, при которой наблюдается 50 % ингибирование радикалов DPPH. Чем ниже EC_{50}, тем больше антиоксидантная активность. Наибольшей антиоксидантной активностью обладает γ-токоферол (0,20 EC_{50}, мг

антиоксиданта/мг DPPH), за ним следует α-токоферол и β- и δ-токоферолы (0,23; 0,27 и 0,27 EC_{50}, мг антиоксиданта/мг DPPH соответственно). Полученные исследователями данные подтверждаются результатами многих других исследований, в которых показано, что γ-токоферол обладает наибольшей антиоксидантной активностью по сравнению с другими токоферолами [176].

Грецкие орехи обладают высокой антиоксидантной способностью. Это объясняется присутствием в большом количестве в грецком орехе γ-токоферола (84 % от общего содержания токоферолов) [9]. Арахис содержит большее количество токоферолов, но содержание в нем α-токоферола и γ-токоферола практически равное (39 и 52 % от общего содержания токоферолов), что обеспечивает арахису более низкую антиоксидантную активность по сравнению с грецким орехом. Что касается фундука, то в нем присутствуют токоферолы в наибольшем количестве, при этом соотношение α-токоферола и γ-токоферола в фундуке составляет 2:1. Содержание α-токоферола в фундуке практически в 10 раз превышает его содержание в грецком орехе [8].

В соответствии с нормами физиологических потребностей в пищевых веществах, употребление 100 г грецких орехов ежедневно позволяет удовлетворить потребности человека в жирах на 70-100 %, в белках на 20 %, в витамине Е на 15 %, в магнии и фосфоре на 40 %, в калии на 15 % [120]. Таким образом, потребление орехоплодных является важным условием обеспечения организма необходимыми для жизнедеятельности веществами.

Представленные данные подтверждают, что орехоплодные являются источником полноценного белка, жиров, витаминов и минеральных веществ. Из множества орехоплодных грецкие орехи обладают самым высоким содержанием жира и полиненасыщенных жирных кислот, а также оптимальным соотношением омега-6 и омега-3 жирных кислот. Вышеуказанные особенности химического состава орехоплодных, и в частности грецкого ореха, свидетельствующие о высоком содержании в них жиров, в т. ч. представленных ненасыщенными жирными кислотами, приводят к быстротекущему развитию окислительных процессов, и как следствие окислительной порче, которая характеризуется появлением и накоплением прогорклого вкуса и запаха, а также увеличением содержания продуктов реакций автоокисления.

Такой химический состав грецких орехов приводит к возникновению среди других видов орехоплодных максимального уровня риска активизации окислительных процессов на всех этапах товародвижения, поэтому грецкие орехи в большей степени нуждаются в обеспечении условий, направленных на предотвращение возможности активизации процессов автоокисления и возникновения опасности окислительной порчи.

1.3 Анализ факторов, определяющих окислительную стабильность жиров орехоплодных в процессе хранения

Обеспечение качества орехов на этапах товародвижения от момента сбора до момента реализации потребителю является сложной задачей в товароведении. Орехи относятся к продукции с высоким уровнем риска активизации процессов автоокисления на всех стадиях продвижения к потребителю. На разных этапах производства, транспортирования, хранения, фасования и реализации могут возникать производственные ситуации, провоцирующие развитие радикальных окислительных химических и ферментативных процессов в ядрах орехов. Эти процессы протекают на начальных этапах без видимых внешних признаков их проявления.

Окислительные процессы активизируются под влиянием различных факторов воздействия внешней среды. Во время индукционного периода окисления жиров участники цепи продвижения товара не могут фиксировать изменение качества, т.к. на этом этапе не происходит ощутимых изменений органолептических показателей, а контроль физико-химических показателей окисления не предусмотрен нормативными документами. В этой связи участник цепи товародвижения, который занимается подготовкой орехов к реализации потребителю, обработкой, фасовкой и реализацией оптовых партий при установлении сроков годности товара, может ориентироваться только на среднестатистический установленный рекомендуемый срок годности в зависимости от вида орехов, способа обработки и вида упаковки, без учета индивидуального физико-химического состояния конкретной партии продукции.

Каждая партия орехов, поступающая конечному производителю, имеет индивидуальную предысторию производства и продвижения, зависящую от всего комплекса факторов, возникающих по объективным и субъективным причинам, влияющих на качество и безопасность конечной продукции. Высокое содержание полиненасыщенных жирных кислот в составе жиров орехоплодных, определяющих их биологическую эффективность, является основной причиной окислительной порчи за счет процесса автоокисления – окисления кислородом воздуха [71, 223], которое проходит как свободнорадикальная цепная реакция. В результате ухудшается качество продукта, в первую очередь снижаются сенсорные характеристики, такие как вкус и запах [242]. Этим объясняется причина реализации потребителю орехов, с не завершенным сроком годности, у которых присутствуют признаки прогорклости. Поэтому, важной задачей товароведения при организации товародвижения орехов от производителя до конечного потребителя

является разработка алгоритма обеспечения объективного экспресс-контроля динамики окислительных процессов, протекающих в орехах в любом звене цепи поставок для управления качеством каждой конкретной партии орехов.

Качество орехов при хранении зависит в основном от содержания влаги, температуры хранения, относительной влажности воздуха, уровня содержания кислорода, товарного вида орехов, упаковочных материалов, формы хранения и вида технологической обработки орехов (без скорлупы, в скорлупе, обжаренные и т.п.) [185]. Орехи относятся к продуктам длительного хранения. Продолжительность хранения с сохранением органолептических показателей и всего комплекса потребительских свойств на уровне, регламентируемом национальными и международными стандартами, зависит от исходного качества, формирующего необходимый стартовый уровень, обеспечивающий потенциальную стабильность качества на всех этапах товарооборота.

При хранении орехов в них протекает комплекс химических, микробиологических, биохимических и физических процессов. Основными процессами, лимитирующими сроки годности орехов, при условии соблюдения установленного уровня влажности и соблюдения установленных технологических режимов в цепи поставки считаются химические и ферментативные реакции гидролиза и автоокисления жиров ядер орехов. Процессы автоокисления жиров ядер орехов являются основной причиной снижения качества орехов, главным образом, на этапе хранения и транспортирования. Активизация процесса автоокисления жиров в первую очередь обусловлена высоким содержанием в ядрах орехов жира и преобладанием ненасыщенных жирных кислот. Чем выше непредельность жирных кислот липидной фракции, тем выше риски снижения качества орехов и тем выше скорость протекания процесса автоокисления [7, 15].

В процессе окисления ненасыщенных жирных кислот образуются продукты окисления – первичные и вторичные – перекиси, гидроперекиси, альдегиды, кетоны, оксикислоты и т.п. Накопление продуктов окисления ведет к появлению неприятных запаха и вкуса – салистого, окисленного, рыбного, прогорклого [243].

Продукты глубокого окисления жиров не только снижают биологическую и пищевую ценность продукта, но и оказывают токсичное действие на организм человека даже при низких концентрациях, они обладают цитотоксическим и проатерогенным действием [278], а также канцерогенным, мутагенным, воспалительным действием, могут оказывать влияние на изменение ДНК, вызывать ускоренное старение организма и сердечно-сосудистые заболевания [279]. Температура, наличие света, кислорода воздуха, металлов, свободных радикалов, свободных жирных кислот, пигментов, ферментов являются потенциальными факторами, инициирующими окисление жиров [177].

Процесс окисления жиров состоит из основных стадий – инициирования реакции, развития и обрыва цепи. Наиболее реакционноспособными являются полиненасыщенные жирные кислоты. Причем чем выше степень ненасыщенности, тем быстрее протекает окислительная реакция и тем быстрее накапливается количество продуктов окисления. Скорость процесса окисления олеиновой, линолевой и линоленовой кислоты соотносится как 1:40 и 50:100. Скорость реакции между кислородом и олеиновой, линолевой и линоленовой кислотами равна $5{,}3\times10^4$, $7{,}3\times10^4$ и $10{,}0\times10^4$ $M^{-1}c^{-1}$ соответственно. Поэтому орехи, содержащие в своем составе большую долю линолевой и линоленовой кислот, легко подвергаются окислительной порче [182].

Грецкие орехи отличатся от остальных видов самым высоким содержанием жира и полиненасыщенных жирных кислот. Основной жирной кислотой грецкого ореха является линолевая, которая в большой степени подвержена окислению. В процессе автоокисления линолевой и линоленовой кислот образуются конъюгированные продукты, которые в свою очередь еще более реакционноспособны [182]. Первичные продукты окисления (пероксиды и гидропероксиды) относительно стабильны, но в присутствии кислорода и металлов или при воздействии высоких температур они превращаются в альдегиды, кетоны, оксикислоты, эфиры и спирты [243]. В процессе окислительных превращений пероксиды и гидропероксиды при достижении определенного уровня преобразуются во вторичные продукты окисления, таким образом перекисное число масла начинает снижаться [207]. Накопление вторичных продуктов окисления характеризуется *p*-анизидиновым и тиобарбитуровым числами [278].

Среди летучих вторичных продуктов окисления линоленовой кислоты выделяют альдегиды (пропаналь, бутаналь, 2-бутеналь, 2-пентеналь, 2-гексеналь, 3,6-нонадиеналь, декатриеналь), карбоновые кислоты (метил гептаноат, метил октаноат, метил нонаноат), углеводороды (пентан, этан). Летучими продуктами окисления линолевой кислоты являются альдегиды (пентаналь, гексаналь, 2-октеналь, 2-ноненаль, 2,4-декадиеналь), аналогичные карбоновые кислоты, спирты (1-пентанол, 1-октен-3-ол), углеводороды (пентан) [180]. Олеиновая кислота окисляется с образованием альдегидов (октаналь, нонаналь, деканаль), карбоновых кислот, спиртов (1-гептанол), углеводородов (гептан, октан). Гексаналь (23,5 %), пентан, 2,4-декадиеналь, 2-деканаль (34,3 %), 2-гептаналь (29,5 %) являются основными летучими продуктами окисления масел, обусловливающими изменение их органолептических характеристик [182]. Скорость автоокисления возрастает соответственно с повышением температуры и концентрации кислорода, а также при доступе света.

Орехи обладают биологическими механизмами стабилизации окислительных

процессов, используя собственные антиоксиданты. В качестве антиоксидантов выступают фосфолипиды, каротиноиды, фенольные вещества, стеролы, токотриенолы и токоферолы, аскорбиновая кислота, являющиеся естественными компонентами растительных клеток. Антиоксиданты обусловливают торможение процессов автоокисления на этапе индукционного периода. Чем выше содержание антиоксидантов, тем продолжительней индукционный период процесса окисления [184].

Наиболее сильными антиоксидантными свойствами обладают фенольные вещества, способные отдавать атом водорода. Антиоксидантная активность фенолов наиболее активно проявляется в присутствии аскорбиновой и лимонной кислот, выступающих в качестве антиоксидантов самих фенолов. Аскорбиновая и лимонная кислоты проявляют свою собственную антиоксидантную активность путем превращения металлов (в основном железа и меди) в нерастворимые комплексы, либо препятствуют образованию соединений между металлами и гидропероксидами [87, 151, 266].

Токоферолы также обладают высокой антиокислительной способностью. Антиокислительная способность токоферолов основана на более быстрой скорости реакции между токоферолами и пероксидными радикалами (от 10^4 до 10^9 $M^{-1}c^{-1}$), по сравнению со скоростью реакции между пероксидными радикалами и жирами (от 10 до 60 $M^{-1}c^{-1}$). Одна молекула токоферола может защитить от окисления от 10^3 до 10^8 молекул полиненасыщенных жирных кислот. Токоферолы отдают атом водорода пероксидному радикалу, образуя гидропероксид и токоферольный радикал. При этом токоферольный радикал более стабилен по сравнению с пероксидным радикалом из-за резонансной структуры [270]. Антиоксидантная эффективность токоферолов зависит от их концентрации и изомерного состава [259].

Таким образом, жиры ядер орехоплодных претерпевают в процессе хранения значительные химические изменения, сопровождающиеся накоплением продуктов окисления. Некоторые виды орехоплодных от интенсивного протекания окислительных процессов защищает естественная оболочка – скорлупа. Ядра грецких орехов надежно защищены в процессе роста перикарпием, который при созревании растрескивается и отпадает от плода. Целый вызревший плод надежно защищен от внешних воздействий эндокарпием – скорлупой. В процессе первичной обработки грецких орехов для получения товарного продукта – ядра грецкого ореха, орехи очищают от скорлупы (эндокарпия), в результате чего теряется природная защита ядер от воздействия факторов внешней среды [52]. Орехи в скорлупе имеют более длительные сроки годности по сравнению с орехами без скорлупы [214]. Целые ядра грецкого ореха защищены пелликулой (тонкой пленкой), которая содержит большое количество фенольных и дубильных веществ, защищающих

ядро от активизации процессов автоокисления. Процесс механической очистки грецкого ореха от скорлупы сопровождается не только значительным влиянием кислорода воздуха и света, но и механическими повреждениями и нарушением целостности ореха.

В производственных условиях орехи, как правило, хранятся на складах без обеспечения регулируемых температурно-влажностных условий [214]. Неконтролируемые условия могут привести к снижению качества орехоплодных, в том числе к потере массы, ухудшению текстуры, цвета и запаха, а также развитию плесеней и появлению прогорклости и других видов дефектов. Физико-химические критерии оценки качества орехов при хранении не предусмотрены стандартами.

Окислительная стабильность также является одним из важнейших показателей, характеризующих устойчивость масла к окислительным процессам и позволяет оценить уровень окисления, при котором масло будет нельзя употреблять в пищу или масло будет непригодно для использования в процессе жарки или фритюре [187]. Время, при котором достигается такой уровень окисления называется индукционным периодом и определяется путем нагревания образца масла до определенной температуры и измерении физико-химических параметров масла с течением времени. До того момента, как физико-химические параметры масла при постоянной повышенной температуре не начнут значительно изменяться, и определяют индукционный период. Чем продолжительней индукционный период масла, тем более длительный срок годности оно имеет [198].

Окислительная стабильность масла грецкого ореха по сравнению с маслами других видов орехов представлены в таблице 1.10. Как видно из таблицы 1.10, масло грецкого ореха имеет значительно более низкую окислительную стабильность, по сравнению с маслами миндаля и фундука, в основном из-за наличия большого количества полиненасыщенных жирных кислот. Тем не менее, масло арахиса имеет еще более короткий индукционный период. Наиболее часто применяемым физико-химическим показателем для определения индукционного периода является электропроводность масла [243]. Непродолжительный индукционный период масла грецкого ореха обусловливает низкий уровень лежкоспособности грецкого ореха и необходимость установления критериев оценки потенциальной лежкоспособности ядер грецкого ореха.

С целью определения степени свежести растительных масел используются стандартные физико-химические показатели. На основе обобщения литературных данных в таблице 1.11 представлены физические и химические характеристики масла свежего грецкого ореха. Варьирование показателей обусловлено сортовыми особенностями, географическим местом произрастания и другими объективными параметрами.

Таблица 1.10 – Окислительная стабильность масел орехоплодных

	Окислительная стабильность (индукционный период), ч	**Перекисное число, ммоль ½ О/кг масла**
Масло грецкого ореха	2,9	0,952
Масло фундука	9,5	0,234
Масло арахиса	1,5	1,263
Масло миндаля	4,7	0,532

Источник: составлено автором по данным [234]

Таблица 1.11 – Физические и химические характеристики масла грецкого ореха

Параметр	**Величина параметра**
Плотность при 25 °С	0,922
Коэффициент преломления	1,47
Неомыляемые вещества, %	0,50-0,54
Содержание свободных жирных кислот, % олеиновой кислоты	0,05-0,50
Перекисное число, ммоль½ О/кг масла	0,1-1,5
Содержание конъюгированных диенов ($К_{232}$)	0,5-1,3
Содержание конъюгированных триенов ($К_{270}$)	0,05-0,10
p-анизидиновое число	0,193-0,462
Содержание насыщенных жирных кислот, мг/г	80-110
Содержание мононенасыщенных жирных кислот, мг/г	140-285
Содержание полиненасыщенных жирных кислот, мг/г	620-780
Йодное число	147,5-166,0
Общее содержание токоферолов, мг/кг	260-600
Окислительная стабильность, ч	2,6-3,5

Источник: составлено автором по данным [77, 190, 230, 272]

Действующие стандарты на грецкие орехи ГОСТ 16833-2014 (UNECE STANDARD DDP-02:2001) «Ядро грецкого ореха. Технические условия» и ГОСТ 32874-2014 (UNECE STANDARD DDP-01:2013) «Орехи грецкие. Технические условия» [25, 39] не предусматривают физико-химическую оценку стандартных показателей окислительной порчи жиров грецкого ореха. Действие ГОСТ 16833-2014 (UNECE STANDARD DDP-02:2001) «Ядро грецкого ореха. Технические условия» распространяется на ядро грецкого ореха культурных сортов (происходящих от *Juglans regia L.)*, предназначенное для поставки предприятиям розничной торговой сети и общественного питания, реализации в

розничной торговой сети и используемое для промышленной переработки.

В данном стандарте дано определение термину «прогорклость» – «неприятный привкус, вызванный окислением липидов». Согласно ГОСТу, ядро грецкого ореха в зависимости от качества и окраски подразделяют на три товарных сорта: высший, первый и второй. Стандарт регламентирует органолептические показатели (внешний вид, вкус и запах и состояние ядер орехов) и массовую долю влаги. Упаковывать орехи рекомендуется в воздухонепроницаемую упаковку, вакуумную упаковку или упаковку с инертным газом. Тип упаковки оказывает немаловажное влияние на обеспечение лежкоспособности, тем не менее, существующие виды упаковочных материалов не всегда обеспечивают необходимые сроки годности [185, 280]. В соответствии со стандартом [25], ядро грецкого ореха при реализации в торговой сети подразделяется на 5 видов: «половинки», «четвертушки», «крупные кусочки», «мелкие кусочки» и «крупные кусочки и половинки». Следовательно, чем выше степень дробления целого ореха, тем больше образуется свободной, не защищенной защитной оболочкой поверхности ядра, доступного воздействию негативных факторов внешней среды. В связи с этим, «половинки», «четвертинки» и «крупные и мелкие кусочки» ядер приобретают дополнительные риски снижения качества и лежкоспособности при товародвижении.

Учитывая высокое содержание полиненасыщенных жирных кислот в масле грецкого ореха и то, что соотношение степени окисления жирных кислот составляет 1:10:100:200 для стеариновой, олеиновой, линолевой и линоленовой кислот соответственно [152], необходимо предусмотреть конкретные меры, направленные на минимизацию рисков возникновения окислительной порчи орехов с образованием продуктов окисления, обладающих канцерогенными и атерогенными свойствами [193]. Отсутствие нормирования показателей окислительной порчи орехоплодных не позволяет установить реальные сроки годности конкретных партий орехов, предназначенных для реализации населению. Поэтому важной задачей политики в области стандартизации и технического регулирования является установление критериев для осуществления обязательного контроля за уровнем окислительной стабильности орехоплодных.

1.4 Анализ современных технологий увеличения сроков годности орехоплодных

Масла орехов подвержено автоокислению и фотоокислению. Кислород, свет и температура являются основными факторами, оказывающими значительное влияние на

скорость течения окислительных процессов [244]. Многие исследования посвящены возможности замедления окислительных процессов в масле орехоплодных, в том числе с помощью применения различных антиоксидантов и их смесей, таких как трет-бутилгидрохинон, аскорбилпальмитат и другие, а также с помощью снижения концентрации кислорода в атмосфере хранения орехов и других [197].

Рекомендуемые режимы хранения большинства орехоплодных предполагают поддержание постоянной температуры на уровне 20 °С и относительной влажности воздуха 60-75 %, при таких условиях рекомендуемые сроки хранения расфасованных орехов составляют 6 месяцев. Время хранения орехоплодных может быть увеличено за счет хранения при более низких температурах, хранения в атмосфере инертных газов или вакууме [197, 221], обработке антиоксидантами или комбинации вышеперечисленных способов. Также разрабатываются новые перспективные методы увеличения сроков годности пищевых продуктов.

Исследователями изучалось влияние относительной влажности воздуха (ОВВ) в атмосфере хранения орехоплодных на скорость течения окислительных процессов. При низких значениях ОВВ существенных изменений в интенсивности протекания окислительных процессов не было установлено, но повышенная влажность воздуха может активизировать гидролитические и микробиологические процессы порчи орехов [190, 238].

Особое внимание исследователей уделяется изучению закономерностей влияния температурных режимов и продолжительности хранения, как наиболее значимых факторов, на окислительную стабильность орехов. Для большинства орехов с коротким индукционным периодом окисления, температура оказывает большое влияние на скорость окислительной порчи орехов. Например, установлено значительное ухудшение качества неочищенных грецких орехов при повышении температуры хранения с 3 °С до 10 °С [173], в то время как качество миндаля, имеющего продолжительный индукционный период, не претерпевает существенных изменений при хранении в течение 9 месяцев при температуре от 4 °С до 20 °С [269]. Для миндаля также было показано отсутствие влияния состава атмосферы хранения с высокой и низкой концентрацией кислорода на темпы окислительных превращений. Но после 9 месяцев хранения качество миндаля сохранялось значительно лучше при температуре 4 °С и в атмосфере с низким содержанием кислорода.

Многие исследования посвящены изучению возможности увеличения сроков годности орехов за счет использования различных способов и материалов упаковки для предотвращения течения окислительных процессов. Установлено, что наибольшее влияние на качество грецкого ореха оказывает температура, затем степень пропускания упаковкой кислорода, затем освещенность [212]. В результате исследований ученым удалось

достигнуть приемлемого качества ядер грецких орехов после хранения 12 месяцев в полиэтиленовой тетрафталат-SiO_x/полиэтилен-N_2 упаковке при 20 °С. Savage и др. [250-252] определили возможность увеличения сроков годности крупки (муки) грецкого ореха до 26 недель при хранении при температуре не выше 23 °С в полипропиленовых пластиковых контейнерах с полиэтиленовыми герметичными крышками.

Исследователями Jensen и др. [212] было изучено влияние различных упаковочных материалов на течение окислительных процессов в грецком орехе. В качестве упаковочного материала были использованы полиэтилен низкой плотности (LDPE), полиэтилентерефталат (PET) и сополимер этилена и винилового спирта (EVOH). В качестве атмосферы хранения использовался воздух, продувание азотом и абсорбент кислорода. В результате определения содержания гексаналя в исследуемых образцах и изучения органолептических характеристик, было установлено, что окислительные процессы практически не развивались в упаковке из EVOH в атмосфере продувания азотом или с абсорбентом кислорода. Орехи, хранившиеся при температуре 11 °С в упаковке из полиэтилентерефталата (в атмосфере воздуха и азота) имели достаточно низкую скорость накопления гексаналя в процессе хранения (содержание гексаналя на 12 месяц хранения составило 30-40 мг/кг орехов). При органолептической оценке образцов, дегустаторы отметили более низкую степень окисленности у образцов, хранившихся при температуре 11 °С по сравнению с образцами, хранившимися при 21 °С в упаковке из одного и того же материала и в одной и тоже атмосфере хранения. Лучшие органолептические показатели на протяжении всего периода хранения имели орехи, которые хранились при температуре -18 °С. Авторами был сделан вывод о более существенном влиянии температуры хранения на качество грецкого ореха по сравнению с видом упаковочного материала и атмосферой хранения [212].

Оптимальными условиями хранения орехоплодных, и в частности грецких орехов, являются температура 0-3,5 °С и относительная влажность воздуха 55-65 %. При таких условиях, ядра грецких орехов могут храниться до 12 месяцев. При 10 °С грецкие орехи могут сохранять свое качество до 4-12 месяцев в зависимости от исходного качества. Хранение при температуре выше 21 °С приводит к резкому инициированию окислительных процессов и сокращению сроков годности грецкого ореха до нескольких месяцев. Наличие дневного света [244] также активизирует окисление жиров в грецких орехах во время длительного хранения. Однако, хранение орехов при температуре ниже 11 °С требует значительного количества холодильного оборудования и соответственно места для его размещения, и как следствие, себестоимость продукции при таких условиях будет значительно выше. Использование упаковочных материалов с низкой проницаемостью для

кислорода также ограничено ввиду высокой стоимости такой упаковки.

Большое внимание уделяется изучению влияния пониженных концентраций кислорода на сохраняемость орехов. Согласно литературным данным, концентрация кислорода более 2,1 % является достаточной для активизации окислительных процессов в жирах орехоплодных. Снижение концентрации кислорода может достигаться за счет введения азота или углекислого газа в атмосферу хранения, а также путем использования абсорбентов кислорода [185]. Хранение орехоплодных в атмосфере азота при 2,5 % содержании кислорода по сравнению с хранением при 21 % содержании кислорода позволяет существенно снизить значения перекисного числа и содержания гексаналя [201], а также получить более привлекательные органолептические характеристики орехов.

Хранение орехоплодных в атмосфере углекислого газа позволило увеличить сроки годности ореха пекан с 2 до 27 недель, а сроки годности сырого арахиса до 12 месяцев, причем арахис в конце срока годности по органолептическим характеристикам соответствовал арахису, хранившемуся при температуре 1,7 °С [264]. Некоторые исследования отмечают значительно лучшую сохраняемость орехоплодных при хранении в условиях продувания азотом по сравнению с вакуумной упаковкой [221]. Однако, упаковка орехоплодных в материалы, имеющие низкую проницаемость для кислорода, оказывает негативное влияние на органолептические показатели качества орехов, ухудшая их, возможно за счет течения ферментативных процессов [211]. Хранение орехоплодных в атмосфере инертных газов, с использованием адсорбентов кислорода, либо в вакуумной упаковке требует значительных финансовых затрат на переоборудование упаковочных линий, и как следствие, увеличивает себестоимость товара [221, 280].

Еще одним способом замедления окислительных реакций является нанесение пищевых (съедобных) покрытий, которые способствуют уменьшению потерь влаги, снижению влияния кислорода, а также могут применяться в качестве антиоксидантов [208]. Исследователями Grosso и др. [205] изучалось влияние пищевых пленок, состоящих из карбоксиметилцеллюлозы, метилцеллюлозы и сывороточного белка на органолептические характеристики грецкого ореха в процессе хранения при комнатной температуре в течение 210 дней. Данные составы пищевых покрытий были выбраны в связи с их способностью ограничивать проникновение кислорода и влаги, а также увеличивать механическую целостность продукта. Было установлено замедление окислительных процессов в образцах, покрытых пленкой из метилцеллюлозы, но при этом резко ухудшались органолептические показатели в течение всего периода хранения.

Lee и др. [223] проводили оценку показателей окислительной порчи арахиса, покрытого пленкой из денатурированного нагреванием изолята сывороточного белка. Как

показали исследования, такое покрытие обладает отличными свойствами барьера для кислорода, что способствует торможению развития окислительных процессов и позволяет увеличить сроки годности арахиса до 2,5 раз.

На ряду с использованием упаковки с высокими барьерными характеристиками, различных газовых сред и низких температур большое внимание уделяется использованию более экономичных технологий хранения с применением антиоксидантов [208, 221].

1.5 Характеристика антиоксидантов, используемых для увеличения сроков годности жиросодержащей продукции

В качестве антиоксидантов для жиросодержащих продуктов используются как искусственные, так и природные антиоксиданты. Среди них наиболее распространенными и коммерчески доступными являются антиоксиданты химической природы – бутилгидроксианизол (БОА, Е 320), бутилгидрокситолуол (БОТ, Е 321), трет-бутилгидрохинон (ТБГХ, Е 319), аскорбилпальмитат (Е 304) и их смеси. В последние годы большой интерес производителей пищевых продуктов вызывают синтетические антиоксиданты, идентичные натуральным, и природные антиоксиданты, в т. ч. смеси токоферолов (Е 306 – Е 309), экстракт розмарина (Е 392), аскорбиновая кислота (Е 300) и другие [66, 76, 99, 114, 266]. Данные антиокислители разрешены для применения при производстве пищевой продукции согласно ТР ТС 029-2012 «Требования безопасности пищевых добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств». В ТР ТС 029-2012 установлены максимально допустимые уровни применения антиоксидантов (БОА, БОТ, ТБГХ, экстракт розмарина) в пищевой продукции, которые находятся в пределах от 100 до 200 мг/кг. Максимально допустимые уровни токоферолов, аскорбиновой кислоты и аскорбилпальмитата определяются требованиями нормативной документации на соответствующий вид продукции.

Согласно проведенным исследованиям Yettella и др. [282] наилучшие результаты по замедлению течения окислительных процессов в соевом масле, подвергнутом ускоренному окислению при 70 °С показали трет-бутилгидрохинон в максимально допустимой концентрации и смесь токоферолов в концентрации 1600 мг/кг. Использование данных антиоксидантов в комбинации с аскорбилпальмитатом в различных концентрациях показало еще более эффективные результаты. Лучшей смесью по значению перекисного числа и образованию конъюгированной линоленовой кислоты оказалась комбинация ТБГХ

в концентрации 100 мг/кг и аскорбилпальмитата в концентрации 100 мг/кг, что подтверждается их доказанным синергическим эффектом.

По данным исследований [279] синтетические антиоксиданты (БОА, БОТ, ТБГХ) наиболее часто используются в пищевой промышленности благодаря их высокой эффективности при малых концентрациях и невысокой цене по сравнению с натуральными антиоксидантами. По данным Azeredo и др. [162], высокую антиоксидантную активность проявляет ТБГХ в комплексе с лимонной кислотой и β-каротином. Отдельно β-каротин и лимонная кислота показали крайне низкую антиоксидантную активность, но в сочетании с ТБГХ проявлялся выраженный синергический эффект.

Akoh и другими был показан эффект от действия ТБГХ в концентрации 0,02 %, который позволил увеличить окислительную стабильность соевого масла на 222 %. Аналогичные результаты были получены при стабилизации окислительных процессов широкой линейки пищевых продуктов [232]. Однако в последние годы безопасность применения этих антиоксидантов является предметом постоянных дискуссий. Множество исследований [230, 232, 237] посвящено исследованию токсичных свойств ТБГХ, БОА и БОТ. Зарегистрировано несколько случаев острой нейротоксичности и образования гастрита при употреблении больших доз ТБГХ. Испытания на животных показали, что ТБГХ вызывает токсический нефроз, гепатотоксичность, нефротоксичность и мутацию или повреждение дезоксирибонуклеиновой кислоты.

ТБГХ запрещен в Японии и некоторых европейских странах. Также установлено, что БОА И БОТ оказывают токсический эффект [230]. Поэтому особое внимание в настоящее время учеными всего мира уделяется получению и применению безопасных и эффективных натуральных или аналогичных натуральным антиоксидантов. Растения богаты такими антиоксидантами, как флавоноиды, таннины, кумарины, фенольные вещества, лигнаны и терпеноиды. Эти компоненты имеют восстановительные свойства и способны захватывать свободные радикалы [178].

В связи с этим, применение природных антиоксидантов в пищевой промышленности вызывает все больший интерес исследователей. Природные антиоксиданты не только способствуют замедлению окислительных процессов, но и выступают в качестве биоактивных компонентов, способных к предупреждению возникновения различных заболеваний человека [193].

Некоторые исследования [229] изучают применение экстракта розмарина в качестве антиоксиданта. Основными компонентами экстракта, обладающими наибольшей антиокислительной способностью, являются карнозол, карнозная кислота и розмариновая кислота, которые прерывают развитие свободнорадикальной цепной реакции путем отдачи

атома водорода. Экстракт розмарина совместно с аскорбиновой кислотой обладает синергическим эффектом на ингибирование развития окислительных процессов.

Исследователями Olmedo и др. [238] изучалось влияние добавления масла розмарина, орегано и лавра в подсолнечное масло, используемое при обжарке ядер арахиса в сравнении с добавлением БОТ. Антиоксидантные свойства розмарина, орегано и лавра обусловлены содержанием в них фенольных компонентов с высокой активностью по захвату свободных радикалов. В масле данных растений содержатся такие компоненты как тимол (в орегано), эвгенол (в лавре) и камфара (в розмарине). Было установлено, что наиболее сильным антиокислительным действием обладает синтетический БОТ, за ним в порядке уменьшение эффективности следуют масло розмарина, лавр и орегано.

Исследователями Fhaner и др. [196] изучалось антиоксидантное действие БОТ, экстракта розмарина, гамма-оризанола (антиоксидант, получаемый из рисовых зерен) и сезамола (антиоксидант, получаемый из кунжутного семени) на смесь омега-3 жирных кислот в процессе хранения при 30 и 50 °С в течение 14 дней. Было установлено, что наибольшей антиоксидантной активностью обладает БОТ, за ним следуют экстракт розмарина, сезамол и гамма-оризанол. Авторами установлено, что сезамол обладает высокой способностью захвата свободных радикалов по отношению к радикалам 2,2’-Azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic) кислоты, которая превышает способность ТБГХ. Но антиоксидантная активность сезамола значительно снижается при высоких температурах ввиду его распада.

Согласно исследованиям, Chen и др. [179] экстракт розмарина является одним из сильнейших природных антиоксидантов. Было показало, что добавление экстракта розмарина в концентрации 200 мг/кг позволяет значительно замедлить течение окислительных процессов по сравнению с добавлением БОА и БОТ. Тем не менее, ТБГХ имеет более сильное антиокислительное действие [237]. Показано, что экстракт розмарина имеет наилучшие антиокислительные свойства среди следующих природных антиоксидантов: α-токоферола, аскорбилпальмитата и лимонной кислоты.

Среди токоферолов наибольшую антиоксидантную активность показали по содержанию конъюгированной линоленовой кислоты – α-токоферолы и γ-токоферолы в концентрации 600 мг/кг. Интересно заметить, что эти же токоферолы в более высоких концентрациях (до 1800 мг/кг) оказывали меньшую антиокислительную способность [200], а в некоторых случаях только способствовали активизации окислительных процессов. Данный эффект объясняется более высокой стабильностью γ-токоферолов и быстрым разрушением α-токоферолов в процессе фотоизомеризации [273]. Также α-токоферолы обладают наименьшим окислительно-восстановительным потенциалом по сравнению с

другими токоферолами, которые являются более сильными донорами водорода [181].

Исследователями Romero и др. [246] изучались антиокислительные способности α-токоферола и α-токотриенола. По данным исследований, одна молекула токоферола может защитить от окисления около 10^6-10^8 молекул полиненасыщенных жирных кислот. В результате исследований, было выявлено, что при высоких температурах (180 °C) и α-токоферолы, и α-токотриенолы оказывают антиоксидантное действие, но действие α-токоферолов более сильное при равных концентрациях. Причем при таких температурах α-токоферолы (в концентрации 500 мг/кг) в меньшей степени подвергаются разрушению, и их полная деградация наступает лишь после 6 часов нагревания, в то время как разрушение α-токотриенолов наступает уже после 2 часов нагревания. Также α-токоферолы в концентрации 150 мг/кг показали наибольшую антиокислительную стабильность по сравнению со смесью α-токоферолов и α-токотриенолов в концентрации 70 мг/кг α-токоферолов и 70 мг/кг α-токотриенолов [188].

Исследователями Yalcin и др. [279] проводились сравнительные испытания антиоксидативного действия галловой кислоты, эллаговой кислоты, кверцетина, β-каротина и ретинола в масле, полученном из фундука. Антиоксиданты вводились в масло в концентрации 0,1 %. Образцы масла хранились при температуре 40 °C в присутствии света и воздуха в течение 120 дней. По результатам определения содержания свободных жирных кислот, перекисного и цветного чисел масла удалось установить, что кверцетин оказал наиболее сильный антиоксидантный эффект в процессе хранения.

Согласно другим исследованиям, катехин увеличивает окислительную стабильность арахисового масла, а мирицетин и кверцетин – стабильность подсолнечного масла [281]. Исследования показали наличие антиоксидантного эффекта у галловой и кофейной кислот при добавлении их в кукурузное масло. При изучении окислительной стабильности кукурузного масла, используемого в качестве фритюрного масла, был установлен следующий порядок снижения антиоксидантной активности: галловая кислота > кверцетин > мирицетин > цианидин > пеларгонидин [191].

Исследователями [231] был показан антиоксидантный эффект кофейной кислоты и ее эфиров. Кофейная кислота относится к фенольным кислотам, и имеет *о*-дифенольную и гидроксицинамольную структуру. Антиоксидантный механизм полифенолов представлен образованием хинона из дигидроксибензола. Кофейная кислота содержится в большинстве растений в виде эфиров, например, хлорогеновая кислота и розмариновая кислота являются эфирами кофейной кислоты, обладающими антиоксидативным действием. Исследователями показан антиоксидантный эффект простейшего эфира кофейной кислоты – метилкофеата.

Необходимо заметить, что рассмотренные натуральные антиоксиданты, особенно розмарин, обладают специфическим вкусом, ароматом и цветовыми характеристиками, которые могут ограничить концентрацию применяемого антиоксиданта или вообще исключить его применение для конкретного пищевого продукта. Помимо этого, содержание активных ингредиентов в экстракте розмарина крайне мало (составляет не более 5 %), что значительно увеличивает расход и стоимость данного антиоксиданта.

Одним из наиболее эффективных антиоксидантов является дигидрокверцетин (таксифолин, DHQ – 2-(3,4-dihydroxyphenyl)-2,3-dihydro-3,5,7-trihydroxy-4H-benzopyran-4-one). Дигидрокверцетин относится к группе флавоноидов, который связывает свободные радикалы, тем самым тормозит развитие окислительных процессов [210]. Дигидрокверцетин получают из древесины сибирской лиственницы. Также дигидрокверцетин был обнаружен в репчатом луке, морском чертополохе и коре пихты [4, 65]. Учеными [227] разработан экономически эффективный и экологически безопасный способ получения дигидрокверцетина из древесных опилков лиственницы Гмелина (*Larix gmelini (Rupr.) Rupr.*).

Известно применение дигидрокверцетина в качестве биологически активной добавки [58]. Дигидрокверцетин оказывает дезинтоксикационное, антиоксидантное, противоотечное действие. Также способствует регенерации, имеет капилляропротективную направленность, укрепляет стенки сосудов, тормозит окисление липидов в составе клеточных мембран, препятствует развитию различных заболеваний и преждевременному старению клеток человеческого организма [191, 225]. Исследованиями показано благоприятное действие дигидрокверцетина при заболеваниях раком, сердечно-сосудистых заболеваниях и заболеваниях печени [81, 117].

Дигидрокверцетин обладает двумя из 3 критериев способности эффективного захвата свободных радикалов – наличие *о*-дигидроксигрупп в кольце В и группировки двойной связи с оксо- и гидроксильной группой в кольце С [274]. Наличие 2 бензольных колец определяет эффективное поглощение свободных радикалов. Антиокислительное действие дигидрокверцетина обусловлено также передачей атома водорода, в результате чего дигидрокверцетин окисляется до кверцетина, который в свою очередь также обладает антиоксидантным действием, но в меньшей степени [224]. Исследованиями показано, что дигидрокверцетин имеет схожий профиль антиоксидантной активности с α-токоферолом, препятствующий образованию супероксид-аниона и защищающий митохондрии от повреждения перекисными радикалами [80, 112]. Дигидрокверцетин имеет период полураспада в организме человека 1,3 часа. Испытания дигидрокверцетина показали отсутствие токсичности при долгосрочном кормлении крыс [224].

Исследования *in vitro* [195] показали антиоксидантные свойства дигидрокверцетина, в том числе защиту от образования малонового диальдегида и потери активности глутатионпероксидазы (группы ферментов, защищающих организм от оксидативного повреждения) и глетатионредуктазной активности. Дигидрокверцетин обеспечивает защиту от ультрафиолетового окисления липидов *in vitro.*

Теселкин и др. [261, 262] изучали влияние дигидрокверцетина на процессы окисления свободных радикалов в сыворотке крови и жирах печени мышей *in vivo* после облучения их γ-радиацией. Результат показал, что дигидрокверцетин эффективно способствует снижению уровня окисленности свободных радикалов жиров, плазмы крови и печени мышей. Этими же авторами проводились исследования антиоксидантных свойств дигидрокверцетина на крысах с гепатитом печени, вызванном действием тетрахлорметана (четыреххлористого углерода). В результате исследований, предположение о гепатопротекторных свойствах дигидрокверцетина подтвердилось.

Исследователями Liang и др. [227] было доказано более сильное антиокислительное действие дигидрокверцетина по сравнению с кверцетином. Дигидрокверцетин также известен в качестве антиоксиданта для применения в пищевой промышленности. Согласно Техническому регламенту Таможенного союза ТР ТС 029-2012 «Требования безопасности пищевых добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств» дигидрокверцетин входит в перечень пищевых добавок, разрешенных для применения при производстве пищевой продукции и применяется в качестве антиокислителя при производстве многих пищевых продуктов (в сливках концентрированных, сухом молоке, плавленом сыре и шоколаде, пищевых жирах, хлебобулочных изделиях и др.) на уровне не более 200 мг/кг жира продукта.

В настоящее время зарубежные фирмы в разных странах создают ассортиментные линейки на базе натуральных и идентичных натуральным антиоксидантов для использования в разных отраслях пищевой промышленности. Эффективность действия антиоксидантов определяется химическим составом и индивидуальными характеристиками пищевых продуктов, концентрацией и составом антиоксидантных препаратов. Также важно отметить, что использование искусственных антиоксидантов для таких продуктов, как орехоплодные, снижает их пищевую и биологическую ценность. Согласно исследованиям [179] потребители проявляют осведомленность о том, что искусственные компоненты пищевой продукции могут иметь канцерогенный эффект. Учитывая, что введение антиоксидантов увеличивает стоимость готового продукта, необходимо определить индивидуальную эффективность действия для предполагаемого объекта окислительной стабилизации, установить минимально-эффективный уровень использования

антиоксиданта для стабилизации окислительных процессов и разработать технологию обработки.

1.6 Анализ эффективности современных электрофизических способов обработки пищевых продуктов

В последние годы большое внимание ученых привлекают возможности использования физических способов обработки в пищевой промышленности и сельском хозяйстве. В пищевой промышленности нашли широкое применение такие физические способы обработки как инфракрасная обработка, обработка сырья сверхвысокочастотным излучением (СВЧ) [169, 209]. Установлено, что СВЧ-обработка семян подсолнечника приводит к увеличению содержания жира и изменению структуры его липидного состава [5, 163]. Широкое распространение в технике и технологии имеет лазерная обработка. Это направление обеспечено глубокими научными разработками, в т. ч. в области физиологии растений [10, 12, 60, 75]. Развитие технологии лазерной обработки послужило базой для создания нового научного направления – фотоэнергетики, которое в настоящее время широко применяется в агротехнологиях активизации ростовых процессов, для повышения продуктивности растений и др. [11, 94, 100, 125, 166].

Особое внимание ученых привлекает возможность использования электрических, магнитных, электромагнитный полей, лазерного облучения разной интенсивности для регуляции метаболической активности в растительных тканях. Результаты этих исследований опубликованы более чем в 15 000 работах отечественных и зарубежных исследователей [17, 54, 74, 98, 127, 209].

Установлено, что живые системы являются открытыми системами, которые имеют свои собственные электромагнитные поля и находятся в постоянном взаимодействии с электромагнитным полем земли. Воздействие внешних электрофизических эффектов на активность физиологических процессов, протекающих в растительных и животных тканях и клетках микроорганизмов, активно изучается учеными в области научных направлений – электромагнитной биологии и электрофизиологии [21, 69, 86, 118]. Одним из первых ученых в мире, который обратил внимание на влияние электрического тока и электрических полей на растительные организмы был М.В. Ломоносов. К.А. Тимирязев считал, что растения очень чувствительны к воздействию трех основных физиологических регуляторов: теплу, свету и электрическим воздействиям.

Показано, что разные физические характеристики электромагнитного, электрического, магнитного и лазерного облучения вызывают индивидуальную биофизическую реакцию исследуемой системы [22, 51, 70]. Для каждого конкретного объекта и вида физического воздействия необходимо подбирать индивидуальные режимы воздействия [247]. При проведении исследований ученые использовали широкий диапазон частот электромагнитного спектра с разными параметрами поля, его напряженности, мощности, амплитуды, резонанса с колебаниями самой биологической системы, времени внешнего воздействия и др. [61, 73, 96, 119]. В зависимости от параметров обработки и характеристики электрофизического воздействия могут наблюдаться полярные эффекты реакции, от максимального положительного эффекта до гибели системы [163]. Величина положительного эффекта колебалась в широком дискретном диапазоне для каждого исследованного вида воздействия и составляла в среднем от 10 до 30 % [276]. Исследования ученых направлены на повышение эффективности технологии производства и потребительских характеристик продукции и удлинение сроков хранения сырья и готовой продукции [56, 83, 115, 137]. Особое внимание уделяется комплексному воздействию предлагаемых электрофизических излучений на исследуемый объект [139, 144, 247].

На основании проведенных исследований в разных областях биофизики и биохимии, авторы высказывают целый ряд предположений, объясняющих возможные направления воздействия физических факторов. К их числу относятся постулаты, базирующиеся на основе кластерной теории, эффектах ядерного магнитного резонанса, параметрического резонанса, стохастического резонанса, циклотронного резонанса, модуляции скорости отдельных частиц и потоков частиц под действием электромагнитных полей и ряда других эффектов. Обоснование причин наблюдаемых эффектов базируется на констатации фактов изменения скорости и направления протекания биохимических реакций [53, 85, 101, 108].

Известно, что перенос электронов в биохимических реакциях, в морфологических структурах клетки, является электрической формой энергии, которая служит важнейшим элементом управления биоэнергетикой клетки и является движущей силой всех физиологических процессов, протекающих в растительных объектах. Было доказано, что внешние электромагнитные излучения оказывают влияние на активность работы калий-натриевого протонного насоса на мембранах клеточных ультраструктур и тем самым вызывают изменение концентрации водородных ионов и активности метаболических процессов, протекающих в тканях [62, 111, 116, 138].

Работами в области физиологии и биохимии растений доказано, что электрические поля могут использоваться для регуляции биохимических процессов в растительных тканях. Многие органические вещества в растительной клетке могут находиться в форме

ионов, они участвуют в переносе электронов в окислительно-восстановительных реакциях [163]. Была выявлена способность клеток живых организмов создавать свои собственные электромагнитные поля, которые в свою очередь способны взаимодействовать с внешними полями и менять свои параметры и биохимическую активность. Показано, что в результате электрофизических воздействий происходит изменение частоты и амплитуды модулированных колебаний, приводящих к физиологическим изменениям в растительных объектах [63, 110, 134]. Установлено, что под влиянием электрофизических обработок наблюдался эффект электрострикции белковых молекул, которому подвержены белки в глобулярной и фибриллярной формах, аналогичные изменения конфигурации молекул были установлены и для аминокислот. Эти процессы протекают непрерывно. Серьезные изменения выявлены так же в скорости синтеза белка и РНК, которые были установлены при проведении цитохимических анализов на целом ряде культур, которые объяснялись высвобождением свободного и слабо связанного кальция [135, 146]. Последние результаты, полученные в магнитобиологии, показали, что именно ионы кальция являются первичными рецепторами энергии электромагнитных излучений.

Молекулы органических соединений имеют собственные излучения волновой природы, каждое соединение имеет свою резонансную частоту. Поэтому под действием внешних электрофизических воздействий с определенными значениями частоты и амплитуды может происходить эффект резонансного взаимодействия, вызывающий изменение структуры и свойств органических веществ – белков, липидов и др. [136, 147]. Под действием электромагнитных полей происходит изменение заряда диполей коллоидов в цитоплазме, что влияет на изменение процессов интеграции коллоидов [11, 70, 140].

Все вышеприведенные факты характеризуют широкий спектр физико-химических изменений, происходящих в живых системах при воздействии различных видов электрофизических излучений, которые затрагивают общую физиологическую реакцию целостного организма, отдельных его элементов, тканей и клеток и позволяют осуществлять направленное управление иммунитетом, продуктивностью, потребительскими свойствами и сохраняемостью пищевых продуктов. Можно предположить, что применение электромагнитных полей окажет влияние на структуру липидных и белковых комплексов, составляющих основною долю в орехах и, при использовании оптимальных режимов обработки, позволит снизить активность радикальных окислительных процессов в липидах и увеличить сроки годности орехов при длительном хранении.

Выводы по главе 1

В результате проведенного литературного обзора было подтверждено, что

орехоплодные, в особенности грецкие орехи, обладая значительной пищевой ценностью, крайне подвержены окислительным процессам порчи в связи с высоким содержанием жиров и полиненасыщенных жирных кислот. Природное содержание антиоксидантов и естественная оболочка (скорлупа) орехоплодных позволяют сдерживать развитие окисления. В розничной торговой сети в основном реализуются ядра грецких орехов без скорлупы, которые подвержены стремительному развитию радикальных окислительных процессов в липидах под действием температуры, кислорода воздуха, света и других факторов. В результате развития окисления снижается пищевая ценность орехоплодных, ухудшаются их органолептические характеристики, накапливаются токсичные продукты окисления. Все эти факторы определяют необходимость разработки мер, направленных на замедление скорости окислительных процессов на этапах товародвижения орехов.

Учитывая сложную ситуацию на отечественном рынке орехов, введение санкций и эмбарго на импортные поставки орехов, резко возросли оптовые и розничные цены на орехи и существенно снизилось их качество. Снижение качества импортируемых орехов привело к снижению их сроков годности и обусловило необходимость использования дополнительных мер для стабилизации процессов автоокисления на всех этапах цепей поставок. Наиболее распространенными методами стабилизации окисления жиров в ядрах орехов могут служить новые виды упаковочных материалов с высокими барьерными характеристиками, хранение орехов в измененной газовой среде, хранение в условиях пониженных температур, нанесение протекторных оболочек с дифференцированными композициями защитных препаратов. Особое внимание уделяется применению высокоэффективных натуральных и идентичных натуральным препаратов антиоксидантов. Возможность применения антиоксидантов дигидрокверцетина и препаратов токоферолов и других натуральных антиоксидантов может быть эффективно использована для удлинения сроков годности орехов. Анализ основных направлений в разработке и применении новых ресурсосберегающих технологий позволил выявить эффективность использования различных видов электрофизических воздействий. При выборе эффективных способов стабилизации качества орехов необходимо ориентироваться на 3 основополагающих критерия: стоимость дополнительной обработки, степень эффективности принимаемых мер и сохранение безопасности продукции.

ГЛАВА 2 ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1 Характеристика объектов исследования

В качестве объекта исследования были выбраны грецкие орехи из-за высокого содержания жиров и их высокой степени ненасыщенности. В связи с этим грецкие орехи наиболее подвержены окислительной порче среди других видов орехоплодных. Появление прогорклого запаха и вкуса еще до завершения установленных производителями сроков годности продукта делает его непригодным для употребления.

С целью установления критериев, характеризующих интенсивность развития окислительных процессов, протекающих в ядрах грецких орехов, и для объективного определения сроков годности обезличенных партий грецкого ореха, поступающих в различные временные периоды из различных географических зон выращивания, а также для изучения ферментативных и неферментативных процессов, протекающих в орехоплодных при хранении, работа проводилась в три этапа.

На первом этапе нами были выбраны для исследования в качестве модельного объекта тонкоскорлупные грецкие орехи сорта «Урожайный», характеризующиеся высоким содержанием жира, выращиваемые в южных и центральных регионах России. Данный сорт зимоустойчив, скороплоден (созревание орехов происходит в середине сентября), средняя масса одного ореха составляет 10 г, длина порядка 4 см, выход ядра 50-53 %, толщина скорлупы около 1 мм, содержание жира составляет около 70 %. Для исследования были использованы орехи урожая 2014 года, выращенные в Бахчисарайском районе Крыма.

На втором этапе изучали характеристики биохимических показателей грецких орехов, реализуемых в розничной торговой сети г. Москвы, влияющих на формирование органолептических показателей качества и характер окислительных процессов. В качестве объекта исследования с обезличенными показателями служили грецкие орехи различных торговых марок без скорлупы и в скорлупе.

В условиях розничной торговли условия хранения исследуемых орехов были соблюдены (температура хранения не выше 25 °С, относительная влажность воздуха не более 75 %). Образцы для исследования хранились в полимерной закрытой упаковке в морозильных камерах при температуре -18 °С до начала исследований. Все анализы проводились при комнатной температуре.

Для исследований было использовано 10 образцов очищенных ядер грецких орехов различных брендов от разных производителей (характеристика образцов представлена в таблице 2.1) и 3 образца грецкого ореха в скорлупе. Исследуемым образцам ядер грецкого ореха были присвоены номера от 1 до 10, образцам в скорлупе были присвоены номера 1с, 2с и 3с. Ценовой диапазон исследуемых образцов ядер грецких орехов составлял от 900 до 1800 рублей за 1 кг. Ценовой диапазон закупленных грецких орехов в скорлупе составлял от 600 до 1200 рублей за 1 кг. Для проведения исследований закупленный объем каждого образца составлял около 2,5-3,0 кг.

Орехи были отобраны методом случайной выборки. Для исследований закупалась продукция, относящаяся к среднеценовому сегменту на рынке орехоплодных. Большинство исследуемых образцов не имело в маркировке указания места происхождения товара и года сбора урожая. Все исследуемые образцы были изготовлены в соответствии с СТО. Упаковка большинства образцов представляет собой прозрачный полипропиленовый пакет. Отдельные образцы были упакованы в непрозрачную полимерную упаковку, имеющую небольшой прозрачный участок для демонстрации содержимого. Все образцы грецкого ореха были упакованы в атмосфере воздуха. Установленные производителями сроки годности образцов составляли от 6 до 12 месяцев. На момент начала проведения исследований истекло не более 10 суток с даты изготовления товара, указанной на упаковке.

На третьем этапе работы для увеличения сроков годности грецких орехов использовались антиоксиданты дигидрокверцетин, NovaSOL Rosemary (состав: эмульгатор, экстракт розмарина, содержащий минимум 40 % карнозной кислоты; водо- и жирорастворим), NovaSOL COF (состав: эмульгатор, аскорбиновая кислота, вода, среднецепочечные триглицериды, витамин Е – DL-α-токоферол; водо- и жирорастворим), NovaSOL E (состав: эмульгатор, Витамин Е – α-токоферола ацетат, DL-α-токоферол; водо- и жирорастворим).

Антиоксиданты линейки NovaSOL представляют собой вязкую жидкость, плотность которой составляет 1,08-1,18 г/см^3 при температуре 20 ºС. Мутность продуктов, разведенных водой 1:50, по шкале FNU (Formazine Nephelometric Unit) составляет порядка 50 FNU. Значение pH составляет 2-4 для продукта, разведенного водой 1:50. Условия хранения – в темном прохладном помещении при температуре не выше 25 °С, в герметично закрытой упаковке. Вскрытые заводские упаковки рекомендуется хранить в темном прохладном месте при температуре 10-18 °С. Срок годности составляет 12 месяцев с даты производства при хранении в рекомендуемых условиях.

Таблица 2.1 – Характеристика исследуемых образцов ядер грецких орехов

Номер образца	Наименование и торговая марка	Изготовитель и адрес производства	Масса нетто, г	Дата изготовления	Цена за 1 кг, руб.	Материал упаковки	Срок годности	Дата начала проведения исследования
1	Ядро грецкого ореха «Каждый день» ™	ООО «Деловое партнерство», 142153, РФ, Московская обл., Подольский район, дер. Матвеевское, ул. Оборонная, д. 6	100	29.06.2015	907,5	PP, непрозрачная	6 месяцев	07.07.2015
2	Продукт из орехов и ядер орехов грецких «Пикантри» ™	ИП Лавский А.А., 344094, РФ, г. Ростов-на-Дону, ул. Можайская, 32-16. Адрес производства: 346715, РФ, Ростовская обл., Аксайский район, п. Водопадный, ул. Совхозная, 1	250	30.07.2015	981,9	C/LDPE, непрозрачная	12 месяцев	10.08.2015
3	Ядра орехов фасованные. Ядра грецкого ореха сушеные «Good Food» ™	ООО «Фабрика «ГУД-ФУД», Россия, 121471, г. Москва, ул. Рябиновая, д. 38, стр. 5	130	07.07.2015	1733,8	PP, непрозрачная	6 месяцев	15.07.2015
4	Ядра ореха грецкого «Natur Foods» ™	ООО «Деловое партнрство», 142153, РФ, Московская обл., Подольский район, дер. Матвеевское, ул. Оборонная, д. 6	500	29.06.2015	1303,1	PP, прозрачная	6 месяцев	07.07.2015

Продолжение таблицы 2.1

5	Грецкий орех «Белкендорф» ™	ООО «Биопак», Россия, 142138, Москва, п. Курилово, ул. Рабочая, д. 6. Адрес производства: Узбекистан	250	24.03.2015	1521,8	PP, прозрачная	12 месяцев	02.04.2015
6	Ядра грецкого ореха сушеные «Д» ™	ООО «Фабрика «ГУД-ФУД», Россия, 121471, г. Москва, ул. Рябиновая, д. 38, стр. 5	150	27.06.2015	1460,0	PP, непрозрачная	6 месяцев	07.07.2015
7	Грецкий орех	ООО «Комсервис», 141414, Россия, Московская область, Солнечногорский район, д. Соколово, Промзона. Адрес производства: Россия	200	30.07.2015	1495,0	C/PAP, прозрачная	6 месяцев	10.08.2015
8	Ядра грецкого ореха натуральные «Globus» ™	ЗАО «Орехпром», 353823, Россия, Краснодарский край, Красноармейский район, ст. Марьянская, ул. Соболя, 1/2	250	28.08.2015	1359,6	PP, непрозрачная	9 месяцев	07.09.2015
9	Грецкий орех «Семушка» ™	ООО «Комсервис», 141414, Россия, Московская область, Солнечногорский район, д. Соколово, Промзона. Адрес производства: Россия	110	24.08.2015	1908,2	C/PAP, прозрачная	6 месяцев	02.09.2015
10	Грецкий орех натуральный «ФруктОрешки» ™	ООО «Биопак», Россия, 142138, Москва, п. Курилово, ул. Рабочая, д. 6. Адрес производства: Россия	220	24.08.2015	1158,6	PP, прозрачная	12 месяцев	02.09.2015

Источник: составлено автором

Антиоксидант NovaSOL Rosemary представляет собой темно-коричневую тягучую жидкость, при растворении в воде 1:50 представляет собой светло-коричневый прозрачный раствор. Антиоксиданты NovaSOL COF и NovaSOL E – тягучая прозрачная жидкость, бледно-желтого цвета, без осадка. При растворении в воде 1:50 и 1:100 соответственно являются бесцветным прозрачным раствором. Производителем данных антиоксидантов является компания AQUANOVA AG (Германия). Стоимость данных антиоксидантов составляет в среднем около 10 000,0 руб. за 100 мл.

Особенностью производимых компанией AQUANOVA антиоксидантов и других пищевых добавок является то, что активное действующее вещество заключается в ядро мицеллы солюбилизатов по запатентованной технологии, что повышает функциональные и технологические свойства производимых продуктов. Благодаря используемой технологии, производимые компанией продукты имеют повышенную биологическую активность и проникающую силу активных веществ, хорошую растворимость в водной и жировой фазах, более высокую эффективность при меньших дозировках и термическую и механическую стабильность и pH-независимость активных веществ. Продукты компании находят свое применение в пищевой, косметической, фармацевтической и других областях.

Антиоксидант дигидрокверцетин в виде порошка был представлен для проведения исследований ООО НПК «Сибирские технологии» (г. Иркутск). Компания основана в 1997 году и является крупнейшим производителем дигидрокверцетина в России. Сырье добывается из сибирской лиственницы, произрастающей в экологически чистых районах озера Байкал. Содержание чистого дигидрокверцетина в порошке составляет 95 %. Дигидрокверцетин представляет собой порошок светло-желтого цвета без запаха, со слегка горьковатым вкусом, растворим в водно-спиртовых растворах и полярных растворителях. Исследованиями показано отсутствие мутагенности при постоянном применении дигидрокверцетина. Хранить дигидрокверцетин рекомендуется в темных непрозрачных упаковках при температуре не выше 25 °С и относительной влажности воздуха не более 70 % [41]. Срок годности препарата составляет 5 лет. Дигидрокверцетин не изменяет внешний вид, запах и вкус продукта, устойчив при нагревании до 180 °С, что подходит для обжариваемых орехов.

2.2 Методы и схема проведения исследований

Для выполнения диссертационного исследования образцы грецких орехов

подвергались органолептической оценке и определению физико-химических параметров. Определения основных показателей для грецких орехов сорта «Урожайный» проводились в течение 12 месяцев с периодичностью 3 месяца в процессе хранения при следующих температурных режимах: 20 °С, 2 °С и -18 °С (относительная влажность воздуха не более 70 %). Хранение образцов орехов, закупленных в торговых сетях г. Москвы, осуществляли в термостатах при следующих температурных режимах: 20 °С, 35 °С, 45 °С и 55 °С (относительная влажность воздуха не более 70 %) с целью изучения динамики окислительных процессов и обоснования оптимального температурного режима ускоренного хранения. Исследования проводились в течение 154 суток (для орехов, хранившихся без скорлупы) и 378 суток (для орехов, хранившихся в скорлупе) с периодичностью 7 суток. Схема проведения диссертационных исследований приведена на рисунке 2.1. Образцы орехов хранились в закрытых полимерных контейнерах. Для исследований масло из ядер грецких орехов получали методом прямого отжима с использованием гидродинамического пресса, что позволяет получить масло в нативном виде, значительно снижая вероятность разрушения и/или окисления составных компонентов масла грецкого ореха по сравнению с маслами, получаемыми с помощью методов экстракции. Очистка орехов от скорлупы и получение из них масла производились непосредственно перед проведением исследования.

Органолептическая оценка качества исследуемых образцов грецких орехов проводилась с помощью разработанных балльной, гедонической шкал и стандартным профильным методом с участием дегустационной комиссии [113]. Оценку приемлемости образца для употребления проводили с помощью метода гедонических шкал. Разработанная словесная гедоническая шкала состояла из 5 уровней приемлемости: продукт непригоден для употребления (неприемлемо); продукт обладает значительными признаками прогорклости (неприемлемо); продукт обладает незначительными признаками прогорклости (неприемлемо); продукт не обладает признаками прогорклости, но не производит впечатление свежего (приемлемо); продукт не обладает признаками прогорклости и производит впечатление свежего (приемлемо) [248]. Образец признавался непригодным для употребления в пищу при получении оценки ниже «продукт обладает незначительными признаками прогорклости». Результаты органолептической оценки статистически обрабатывались с учетом степени согласованности мнений экспертов (коэффициент вариации во всех исследованиях находился в пределах от 7 до 13 %).

Оценка образцов также проводилась с применением балльной органолептической шкалы по показателям вкус, запах и внешний вид с учетом коэффициентов весомости. Полученные значения приводились к 100 баллам. Кроме того, для оценки

органолептических показателей, применялся профильный метод с использованием 10 балльной шкалы по следующим дескрипторам запаха и вкуса: ореховый, сладкий, скорлупный, фруктовый, цветочный, горький, масляный, прогорклый, окисленный и затхлый. Максимальная оценка в 10 баллов выставлялась при определении наибольшей интенсивности оцениваемого дескриптора. Оцениваемые образцы для дегустаторов помещались в пластиковые закрытые контейнеры за 2 часа до начала дегустации с целью насыщения воздуха в контейнере летучими веществами.

Исследование физико-химических показателей качества масла грецкого ореха проводилось стандартными методами и методами, используемыми в научной практике. Все экспериментальные исследования проводились в трехкратной повторности (стандартное отклонение между параллельными определениями не превышало 5 %), полученные данные статистически обрабатывались с помощью компьютерного ПО Statistica Version 10.

Определение массовой доли жира проводилось стандартным экстракционно-весовым методом в соответствии с ГОСТ 31902-2012 «Изделия кондитерские. Методы определения массовой доли жира» [37]. *Определение массовой доли белка* проводили стандартным методом по ГОСТ 10846-91 «Зерно и продукты его переработки. Метод определения белка» [47]. *Определение массовой доли крахмала* проводилось стандартным методом в соответствии с ГОСТ 10845-98 «Зерно и продукты его переработки. Метод определения крахмала» после обезжиривания продукта в аппарате Сокслета [24].

Определение кислотного числа масла грецких орехов проводилось стандартным титриметрическим методом в соответствии с ГОСТ 31933-2012 «Масла растительные. Методы определения кислотного числа» [38]. *Определение йодного числа* проводилось стандартным методом по ГОСТ Р ИСО 3961-2010 «Жиры и масла животные и растительные. Определение йодного числа» [48]. *Определение массовой доли аскорбиновой кислоты* проводили стандартным титриметрическим методом в соответствии с ГОСТ 24556-89 «Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения витамина С» [27].

Определение жирнокислотного состава масла грецкого ореха проводили в соответствии с ГОСТ 30418-96 «Масла растительные. Метод определения жирнокислотного состава» [29]. *Определение содержания метиловых эфиров жирных кислот* проводили методом газовой хроматографии. Используемый хроматограф - Кристалл - 2000М с пламенно-ионизационным детектором, капиллярной колонкой ZEBRON ZB-FFAP длиной 50 м, диаметром 0,32 мм. Условия хроматографирования: температура детектора – 280 °С, температура инжектора – 250 °С, температурный градиент термостата колонок от 50 до 220 °С (скорость 4 град./мин.), газ-носитель – азот. Идентификация и количественное определение содержания метиловых эфиров жирных

кислот осуществлялось путем сравнения с временем выхода и площадью пиков стандартных веществ [31, 32, 33, 50, 222, 260]. *Определение аминокислотного состава* белка грецкого ореха проводили в соответствии с ГОСТ 32195-2013 (ISO 13903:2005) «Корма, комбикорма. Метод определения содержания аминокислот» [30].

Активность полифенолоксидазы определяли общепринятым спектрофотометрическим методом на спектрофотометре СФ-2000 СКБ «Спектр» при длине волны 560 нм в кварцевых кюветах с длиной оптического пути 1 см. Исследуемую навеску продукта растирали с фосфатным буфером, фильтровали, фильтрат использовали для определения оптической плотности. В фильтрат вносили раствор диэтилпарафенилендиамина. Активность фермента рассчитывали в мкмолях окисленного субстрата на 1 г массы исследуемого образца в минуту [102].

Определение содержания токоферолов проводилось стандартным методом по ГОСТ EN 12822-2014 «Продукты пищевые. Определение содержания витамина Е (альфа-, бетта-, гамма- и дельта-токоферолов) методом высокоэффективной жидкостной хроматографии». Содержание токоферолов определяли в диапазоне от 292 до 298 нм. Количественное определение токоферолов рассчитывали путем сравнения времени выхода и площади пиков стандартного вещества. Исследование проводилось на хроматографе Shimadzu CTO-10 ASVP с капиллярной колонкой Phenomenex (250 мм × 4,6 мм). Температура хроматографической колонки – 25 °С, температура испарителя – 400 °С, давление газа-носителя 70 кПа [202, 249].

Определение состава и содержания летучих соединений проводили общепринятым методом газовой хроматографии/масс-спектрометрии (ГХ/МС) с незначительной модификацией [215]. Идентификация и количественное определение содержания компонентов осуществлялось путем сравнения времени выхода исследуемого вещества и времени выхода и площади пика стандартного вещества. Неизвестные вещества идентифицировались путем сравнения с масс-спектрометрической базой NIST 92 (Vatian Associates Inc.) и базой Wiley 275, NBS 75K. В ходе исследования использовался газовый хроматомасс-спектрометр GCMS-TQ 8040 с колонкой RTx-5 длиной 60 м, диаметром 0,25 мм. Температура инжектора 250 °С, температурный градиент от 50 до 220 °С, энергия ионизирующих электронов 70 эВ, температура масс-селективного детектора 160 °С. Газ-носитель – гелий [213]. Пробоподготовка образцов для определения содержания летучих веществ проводилась следующим образом: образцы грецкого ореха были измельчены до порошкообразного состояния. Полученную массу экстрагировали дважды с применением диэтилового эфира при постоянном перемешивании в течение 30 минут при комнатной температуре. Полученный фильтрат подвергали отгонке с помощью ротационного

вакуумного испарителя. Полученный дистиллят подвергали обезвоживанию с помощью безводного сульфата натрия и фильтрации [215].

Определение физико-химических показателей окислительной порчи проводилось путем определения перекисного, тиобарбитурового чисел, содержания конъюгированных диенов, содержания пропаналя и содержания гексаналя. *Определение перекисного числа* проводилось стандартным методом по ГОСТ Р 51487-99 «Масла растительные и жиры животные. Метод определения перекисного числа» [46]. *Определение тиобарбитурового числа* проводилось общепринятым фотометрическим методом, основанным на реакции малонового диальдегида с тиобарбитуровой кислотой с образованием розового окрашивания. Абсорбция окраски измерялась на спектрофотометре СФ-2000 СКБ «Спектр» при длине волны 532 нм в кварцевых кюветах с длиной оптического пути 1 см. Содержание малонового диальдегида определялось расчетным методом с учетом молярного коэффициента экстинкции малонового диальдегида, равного 156 ммоль$^{-1}$ см$^{-1}$.

Определение содержания конъюгированных диенов проводилось общепринятым спектрофотометрическим методом на спектрофотометре СФ-2000 СКБ «Спектр» при длине волны 232 нм в кварцевых кюветах с длиной оптического пути 1 см. Отфильтрованное масло грецкого ореха растворялось в н-гексане. Содержание конъюгированных диенов определялось расчетным методом с учетом молярного коэффициента экстинкции конъюгированных диенов, равного 220 ммоль$^{-1}$ см$^{-1}$ [285]. Конъюгированные диены представляют продукт окисления, который имеет сопряженные двойные связи в углеродной цепи (двойные связи, разделенные одной одинарной связью). Жирные кислоты с конъюгированными двойными связями более реакционноспособны. Конъюгация двойных связей происходит в период инициирования окисления, поэтому конъюгированные диены относят к первичным продуктам окисления [285]. *Определение содержания гексаналя и пропаналя* проводили общепринятым методом газовой хроматографии на хроматографе Кристалл - 2000М с пламенно-ионизационным детектором, капиллярной колонкой ZEBRON ZB-FFAP длиной 50 м, диаметром 0,32 мм. Условия хроматографирования: температура детектора – 240 °С, температура инжектора – 250 °С [260]. Количественное определение проводили с помощью измерения площади пика и сравнения с площадью пика стандартного вещества.

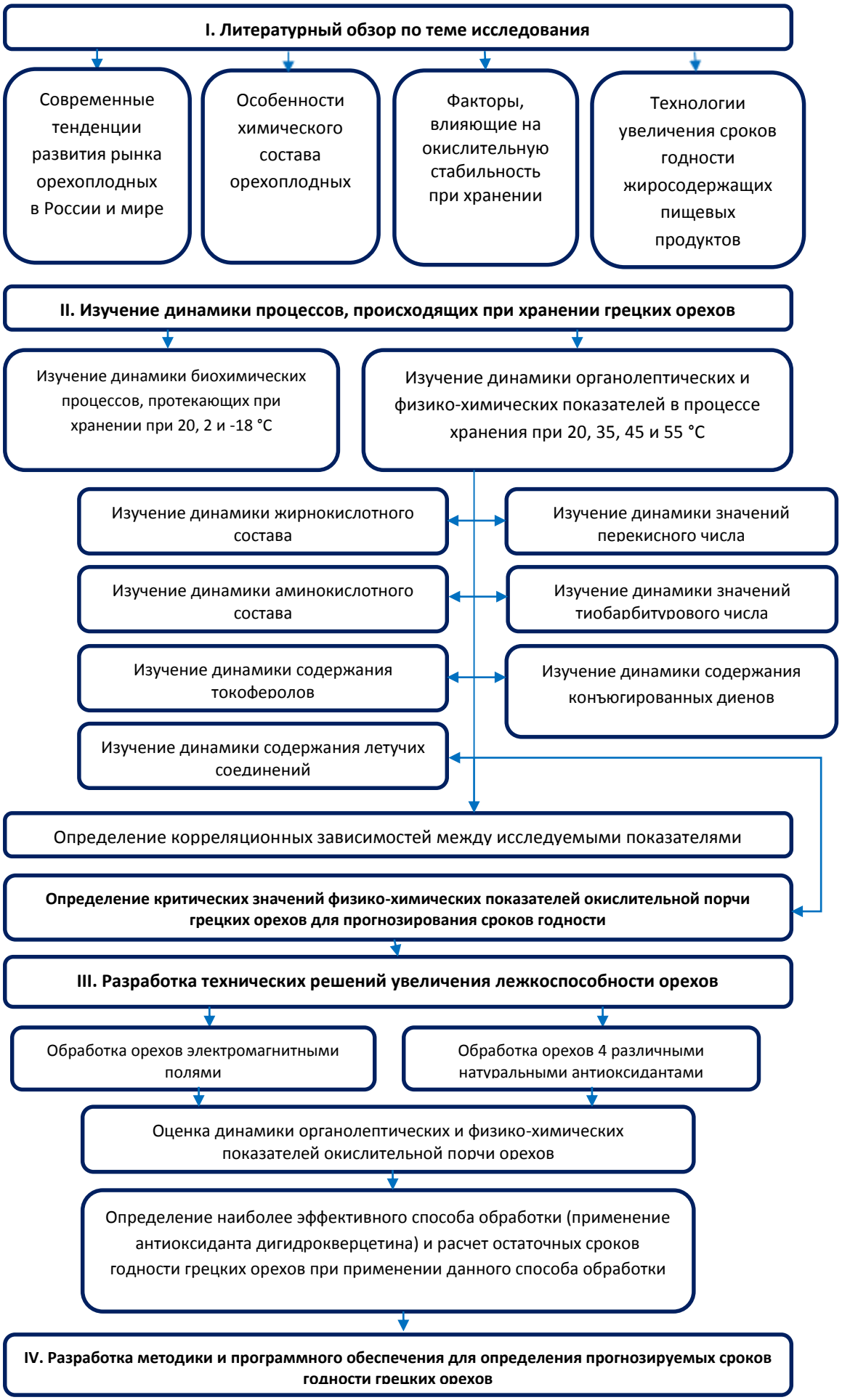


Рисунок 2.1 – Схема проведения исследований

Источник: составлено автором

ГЛАВА 3 ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА КРИТЕРИЕВ ОЦЕНКИ УРОВНЯ РАЗВИТИЯ ПРОЦЕССА АВТООКИСЛЕНИЯ ЖИРОВ В ГРЕЦКИХ ОРЕХАХ ПРИ ХРАНЕНИИ

3.1 Изучение влияния условий хранения на интенсивность процессов, протекающих в грецких орехах сорта «Урожайный»

В реализацию в торговой сети поступает более 90 % импортируемых из разных стран грецких орехов. В большинстве случаев неизвестна предыстория ядер орехов до момента поступления на доработку и подготовку к реализации. Фактически, на переработку попадают орехи с разным потенциалом лежкоспособности и отсутствием информации об активности протекающих в ядрах окислительных процессов. Отсутствие данной информации не позволяет производителю достоверно установить срок годности орехов на этапе реализации. В этой связи рассматривалась возможность установления критериев, характеризующих интенсивность окислительных процессов, протекающих в ядрах грецких орехов, с целью определения объективных сроков годности обезличенных партий грецких орехов, поступающих в разные временные периоды из разных климатических и географических зон выращивания.

Скорость гидролиза белков, жиров и крахмала, активность окислительно-восстановительных ферментов непосредственно зависят от сорта, условий выращивания, сбора и последующего хранения, которые в свою очередь влияют на срок годности орехов. В качестве модельного объекта для изучения динамики окислительных и гидролитических процессов в ядрах грецких орехов при различных условиях хранения, нами были выбраны грецкие орехи сорта «Урожайный» с высоким содержанием жира, тонкоскорлупные, дозревающие на дереве, выращиваемые в южных и центральных регионах России. Орехи были выращены в Крыму (Бахчисарайский район), урожай 2014 года. Данный сорт орехов характеризуется наличием выраженных потенциальных факторов риска в отношении инициирования окислительных радикальных процессов в жирах на всех этапах товародвижения продукции.

Хранение ядер грецкого ореха осуществляли при температурах, соответствующих хранению в морозильных камерах при температуре минус 18 °С; при температурах, характерных для охлаждаемых холодильных камер при 2 °С и при температурах неохлаждаемых складских помещений при 20 °С. Хранение осуществляли в период с октября 2014 г. до сентября 2015 г. На хранение в разных температурных режимах было

заложено по 16 кг ядер грецких орехов. Для проведения исследований отбирали средние пробы массой 2 кг. Результаты изучения динамики химического состава грецкого ореха в процессе хранения при различных температурах представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Динамика химического состава грецкого ореха сорта «Урожайный» в процессе хранения

Продолжительность хранения, месяцы	**Массовая доля жира, %**	**Массовая доля белка, %**	**Массовая доля крахмала, %**
Хранение при температуре 20 °С			
0 (октябрь)	69,8±0,3	14,5±0,1	4,73±0,01
3 (декабрь)	68,3±0,3	13,7±0,1	4,54±0,01
6 (март)	67,5±0,3	13,2±0,1	3,88±0,01
9 (июнь)	64,5±0,3	12,5±0,1	3,15±0,01
12 (сентябрь)	62,8±0,3	11,9±0,1	2,34±0,01
Хранение при температуре 2 °С			
0 (октябрь)	69,8±0,3	14,5±0,1	4,73±0,01
3 (декабрь)	68,7±0,3	14,2±0,1	4,65±0,01
6 (март)	68,0±0,3	13,9±0,1	4,54±0,01
9 (июнь)	67,6±0,3	13,7±0,1	4,29±0,01
12 (сентябрь)	66,9±0,3	13,3±0,1	3,94±0,01
Хранение при температуре -18 °С			
0 (октябрь)	69,8±0,3	14,5±0,1	4,73±0,01
3 (декабрь)	69,7±0,3	14,4±0,1	4,71±0,01
6 (март)	69,5±0,3	14,2±0,1	4,66±0,01
9 (июнь)	69,1±0,3	13,9±0,1	4,61±0,01
12 (сентябрь)	68,7±0,3	13,5±0,1	4,42±0,01

Источник: составлено автором

Как видно из представленных данных, температура хранения оказывает большое влияние на интенсивность метаболических процессов, протекающих в ядрах орехов при длительном хранении. Чем выше температура хранения, тем интенсивнее протекают биохимические процессы. Во всех вариантах исследования происходило уменьшение содержания исследуемых соединений – белков, жиров и крахмала. Более низкая скорость снижения содержания исследуемых веществ наблюдалась в первые 3-6 месяцев хранения, при дальнейшем хранении скорость процессов диссимиляции сложных органических веществ в ядрах орехов увеличивалась. При хранении грецких орехов при температуре 20 °С, содержание жира снизилось на 10,0 % за 12 месяцев. За этот же период времени снижение содержания жира при низких положительных температурах (2 °С) происходило значительно медленнее и составило всего 4,2 %, а при низких отрицательных температурах стандартных морозильных камер (-18 °С) процессы окисления и гидролиза жиров

проходили на очень низком уровне, снижение содержания жира составило всего 1,6 %.

Аналогичная зависимость наблюдалась и при изучении скорости гидролиза белков. При указанных температурах хранения снижение содержания белка в грецких орехах составило 17,9, 8,3 и 6,9 % соответственно. Процесс гидролиза крахмала, как основного запасного вещества для получения молекул глюкозы, служащих дыхательным субстратом, так же подчинялся установленной зависимости от температуры хранения ядер орехов и составил соответственно 51,1 % при температуре хранения 20 °С, 17,0 % при температуре хранения 2 °С и 6,4 % при температуре хранения -18 °С.

Следовательно, снижение температуры хранения грецких орехов приводит к значительному уменьшению скорости диссимиляции сложных органических соединений (уменьшение температуры с 20 °С до -18 °С сокращает скорость диссимиляции до 8 раз). Хранение орехов при низких отрицательных температурах способствует стабилизации метаболических и окислительных процессов и удержанию их на низком фоновом уровне – скорость окисления и гидролиза жиров по сравнению с хранением при 20 °С снижается более чем в 6 раз, степень гидролиза белков сокращается в 2,5 раза, а интенсивность гидролиза крахмала уменьшается почти в 8 раз.

Для установления динамики окислительных неферментативных и ферментативных процессов, протекающих в грецких орехах при хранении, нами были изучены показатели, характеризующие окислительные процессы в жирах (перекисное, кислотное и йодное числа [78]), ферментативное окисление фенольных соединений, как важнейших источников антиоксидантов (активность полифенолоксидазы) [3] и окисление биологически лабильных компонентов, маркером которых служила аскорбиновая кислота.

Как известно, фенольные соединения и витамины С и Е входят в систему антиоксидантной защиты и совместно с рядом других соединений составляют антиоксидантную систему растительных объектов [218, 228]. Наиболее значимыми антиоксидантными соединениями являются гидрофобные каротиноиды, витамины А, Е и др., а также гидрофильные протекторы – аскорбиновая кислота, фенольные соединения, глутатион и др. [228, 239, 277]. Ферментативные антиоксиданты являются наиболее эффективными, но их активность зависит от целого ряда эндогенных и экзогенных фактов, поэтому они могут терять ферментативную активность. Несмотря на то, что неферментативные антиоксиданты являются менее эффективными антиоксидантными протекторами по сравнению с ферментативной системой, они играют важную роль в обеспечении антиоксидантной системы защиты.

Аскорбиновая кислота выполняет биологические функции в окислительно-восстановительных процессах живых систем и может участвовать в нейтрализации

перекисных радикалов и активных форм кислорода. Она является субстратом для окислительно-восстановительных ферментов аскорбатоксидазы и аскорбатпероксидазы. Поэтому аскорбиновая кислота содержится во всех частях растений, а ее концентрация изменяется в зависимости от внешних условий и стадии онтогенеза [266]. Токоферолы являются наиболее важными жирорастворимыми антиоксидантами, т. к. они защищают мембраны клеток от окисления липидными радикалами в цепной реакции перекисного окисления липидов [170]. Грецкие орехи содержат большое количество токоферолов, по данным многих исследователей до 320 мг/кг [159, 190, 211].

Фермент полифенолоксидаза является одним из наиболее распространенных ферментов в растительных объектах. Фенольные соединения являются переносчиками водорода в дыхательной цепи и локализуются в митохондриях клеток. Полифенолоксидаза может локализоваться в митохондриях клеток при оптимальном значении pH 7,0-7,2, а также в мембранах хлоропластов с оптимальным pH около 5,0 [18]. Субстратом полифенолоксидазы являются моно- и полифенолы и дубильные вещества. Полифенолоксидаза катализирует окисление фенольных соединений до соответствующих хинонов, способных к реакции полимеризации, при которой образуются макромолекулы меланинов. Ортохиноны легко взаимодействуют с аминокислотами и могут образовывать танины, придающие горьковато-терпкий вкус орехам при хранении [3]. Полифенолоксидаза также может катализировать процесс окисления аминокислоты тирозина, при глубоком окислении которой образуются темноокрашенные вещества – меланоидины, которые при длительном хранении способствуют потемнению кожуры и ядра грецких орехов, поэтому увеличение активности полифенолоксидазы при хранении орехов может приводить к снижению их пищевой ценности, ухудшению вкуса и изменению цвета.

Нами были проведены исследования интенсивности окислительных процессов и динамики активности полифенолоксидазы и массовой доли аскорбиновой кислоты в процессе хранения при различных температурных режимах грецких орехов сорта «Урожайный». Результаты, представленные в таблице 3.2. подтверждают, что температура хранения является важнейшим фактором, влияющим на активность ферментативных и неферментативных окислительных процессов. Чем ниже температура хранения, тем медленнее происходит гидролиз и окисление жиров. Кислотное число, характеризующее содержание свободных жирных кислот, указывает на скорость гидролитических процессов. По результатам исследований, кислотное число грецкого ореха в процессе хранения в течение 12 месяцев при комнатной температуре увеличилось в 6 раз, в то время как при хранении при 2 °С и -18 °С увеличение произошло лишь в 2,8 и 1,3 раза соответственно.

При этом первые 3-6 месяцев хранения происходил незначительный рост, а после полугода наблюдался достаточно интенсивный. Увеличение содержания свободных жирных кислот отрицательно сказывалось на вкусе и запахе орехов, вызывая посторонние неприятные привкусы.

Таблица 3.2 – Изменение активности ферментативных и неферментативных окислительных процессов, протекающих в ядрах грецкого ореха сорта «Урожайный»

Продолжительность хранения, месяцы	**Перекисное число, ммоль½ О/кг масла**	**Кислотное число, мг КОН/г масла**	**Йодное число, г I_2/100 г масла**	**Активность полифенол-оксидазы, мкмоль/(г* мин)**	**Массовая доля аскорбиновой кислоты, мг/100 г**
Хранение при температуре 20 °С					
0 (октябрь)	0,14±0,01	0,68±0,05	141,72±5,67	12,12±0,61	4,76±0,33
3 (декабрь)	0,23±0,02	0,78±0,06	140,83±5,63	8,24±0,41	3,94±0,28
6 (март)	0,47±0,04	0,97±0,07	135,41±5,42	4,56±0,23	3,15±0,22
9 (июнь)	1,35±0,11	2,34±0,16	127,78±5,11	9,73±0,49	2,07±0,15
12 (сентябрь)	2,79±0,22	4,09±0,29	107,94±4,32	21,92±1,10	0,93±0,07
Хранение при температуре 2 °С					
0 (октябрь)	0,14±0,01	0,68±0,05	141,72±5,67	12,12±0,61	4,76±0,33
3 (декабрь)	0,18±0,01	0,71±0,05	140,93±5,64	9,74±0,49	4,14±0,29
6 (март)	0,35±0,03	0,89±0,06	137,64±5,51	7,52±0,38	3,78±0,27
9 (июнь)	0,59±0,05	1,12±0,08	133,95±5,36	9,93±0,50	2,34±0,16
12 (сентябрь)	1,04±0,08	1,93±0,14	129,14±5,17	11,24±0,56	1,96±0,14
Хранение при температуре -18 °С					
0 (октябрь)	0,14±0,01	0,68±0,05	141,72±5,67	12,12±0,61	4,76±0,33
3 (декабрь)	0,15±0,01	0,70±0,05	140,99±5,64	5,21±0,26	4,45±0,31
6 (март)	0,17±0,01	0,79±0,06	139,24±5,57	5,56±0,28	4,12±0,29
9 (июнь)	0,26±0,02	0,85±0,06	137,86±5,51	7,63±0,38	4,07±0,29
12 (сентябрь)	0,49±0,04	0,91±0,06	136,94±5,48	9,22±0,46	3,75±0,26

Источник: составлено автором

Анализируя окислительные процессы, протекающие в жирах ядер грецких орехов при хранении, было отмечено постепенное увеличение и перекисного числа. Снижение температуры хранения приводило к уменьшению скорости его роста. Значение перекисного числа масла грецкого ореха при температуре хранения 20 °С в течение 12 месяцев выросло практически в 20 раз, при температуре хранения 2 °С и -18 °С в 7,4 и 3,5 раза соответственно. Таким образом, наиболее интенсивное накопление перекисей и гидроперекисей наблюдалось при температуре хранения 20 °С. Как видно из представленных данных, в жирах орехов при хранении более активно протекают окислительные процессы по сравнению с гидролитическими.

Йодное число, характеризующее степень ненасыщенности жиров, уменьшалось в процессе хранения. Темпы снижения йодного числа в течение 12 месяцев хранения составили 23,8, 8,9 и 3,4 % при хранении грецких орехов при 20 °С, 2 °С и -18 °С соответственно. Поскольку именно скорость окисления жиров является главным фактором, определяющим сроки годности орехов, можно предположить, что при снижении температуры хранения до -18 °С срок хранения грецких орехов может быть увеличен до 6 раз. Содержание аскорбиновой кислоты в грецких орехах зависит от стадии онтогенеза плодов. По мере созревания и последующего дозревания плодов, массовая доля аскорбиновой кислоты снижается во много раз под действием ферментов аскорбатоксидазы и аскорбатперокидазы. В процессе хранения ядер грецких орехов в течение 12 месяцев, по результатам исследований, произошло резкое снижение содержания аскорбиновой кислоты с 4,76 до 0,93 мг/100 г при хранении при 20 °С. Снижение температуры хранения позволило сократить потери аскорбиновой кислоты до остаточного содержания 1,96 мг/100 г и 3,75 мг/100 г при хранении при 2 °С и -18 °С соответственно.

Активность полифенолоксидазы в грецких орехах в процессе хранения в первое полугодие значительно снижалась, а затем возрастала. При понижении температуры ее активность значительно уменьшалась. Сопоставляя динамику снижения массовой доли аскорбиновой кислоты и активности фермента полифенолоксидазы можно заметить, что более активное снижение содержания аскорбиновой кислоты происходит во втором полугодии хранения, при этом параллельно отмечается увеличение активности фермента полифенолоксидазы. Из литературных источников известно, что аскорбиновая кислота является антиоксидантом дубильных веществ [76, 102, 161, 178, 266]. При уменьшении содержания аскорбиновой кислоты активизируется процесс окисления дубильных веществ ферментом полифенолоксидазой (содержание дубильных веществ в грецких орехах составляет порядка 2 %). Кроме того, известно, что при окислении полифенолоксидазой дубильных веществ, которые представлены полифенолами в грецких орехах, и последующем накоплении продуктов окисления, образуются темноокрашенные соединения – флобафены, которые вызывают потемнение пленки и ядра орехов и приобретение неприятных вкусовых и ароматических ощущений, которые усиливаются накоплением продуктов окислительной порчи и гидролиза жиров. Контроль за содержанием аскорбиновой кислоты при хранении грецких орехов может служить маркером изменения цвета орехов при хранении.

Оценка органолептических характеристик грецких орехов, хранившихся более одного года при пониженных температурах показала, что со временем во вкусе и запахе орехов начинают проявляться неприятные ощущения, в том числе: во вкусе появляется

тонкий оттенок прогорклости, неприятный маслянистый привкус, присутствует кислый запах, запах затхлости, сырого картона, несвежести. Кроме того, ухудшается и консистенция грецкого ореха – он становится водянистым, крошливым. Такое изменение органолептических показателей является неприемлемым для потребителя, в связи с чем длительное хранение при отрицательных температурах ядер грецких орехов является нецелесообразным. Также хранение при пониженных температурах требует значительных дополнительных финансовых затрат для обеспечения бесперебойного питания холодильного оборудования, что повлечет за собой увеличение себестоимости и без того недешевого продукта. В связи с вышесказанным, для увеличения сроков годности орехоплодных необходимо использовать технологии, не требующие изменения рекомендуемых условий хранения и направленные на снижение скорости радикального окисления липидов.

3.2 Влияние условий ускоренного хранения на динамику органолептических показателей качества на примере модельной системы грецких орехов

Товародвижение грецких орехов осуществляется в форме очищенного от скорлупы ядра и в неочищенном виде. Большое влияние на сроки хранения грецких орехов оказывает наличие защитной природной оболочки – эндокарпия (скорлупы), ограждающего ядро от негативного влияния внешней среды.

Для разработки методологии оценки потенциала лежкоспособности орехов и изучения эффективности использования новых технологических методов, направленных на увеличение сроков хранения, необходимо сократить продолжительность проведения эксперимента за счет использования режимов ускоренного хранения. С этой целью для продуктов длительного хранения с нестойким липидным комплексом используются методы ускоренного хранения. Метод ускоренного хранения (ASLT – Accelerated Shelf-Life Test, ускоренное испытание срока хранения) [19, 104-106, 183, 223, 238] включает исследование процессов, протекающих в продукте при повышенных температурах хранения с использованием уравнения Аррениуса и экстраполяцией полученных результатов, характеризующих динамику процесса, на требуемые температурные режимы хранения.

На первом этапе были проведены исследования с применением метода ускоренного хранения с помощью оценки органолептических показателей модельной системы, выбранной нами ранее – грецких орехов сорта «Урожайный». Решались две задачи:

- провести сравнение сроков годности по органолептическим показателям очищенных ядер орехов и орехов, хранившихся в скорлупе, для установления влияния наличия скорлупы на скорость окислительных процессов;

- обосновать оптимальную температуру ускоренного хранения грецких орехов по органолептическим показателям.

Неочищенные орехи и ядра грецких орехов сорта «Урожайный» закладывались на хранение при трех повышенных температурах – 35 °С, 45 °С и 55 °С. Параллельно орехи хранили при температуре, обычно используемой в производственных условиях – 20 °С. В исследуемых образцах проводилась оценка органолептических показателей и определялся комплексный органолептический показатель качества с учетом коэффициентов весомости по показателям вкус, запах и внешний вид (показатель внешний вид учитывал цвет кожуры, цвет ядра на изломе и консистенцию ядра). Максимальные коэффициенты весомости были установлены для наиболее лабильных показателей – запах (0,4) и вкус (0,4). Хранение орехов осуществляли в течение 180 суток, анализ органолептических показателей качества проводился с интервалом в 15 суток. Результаты проведенных исследований представлены на рисунке 3.1.

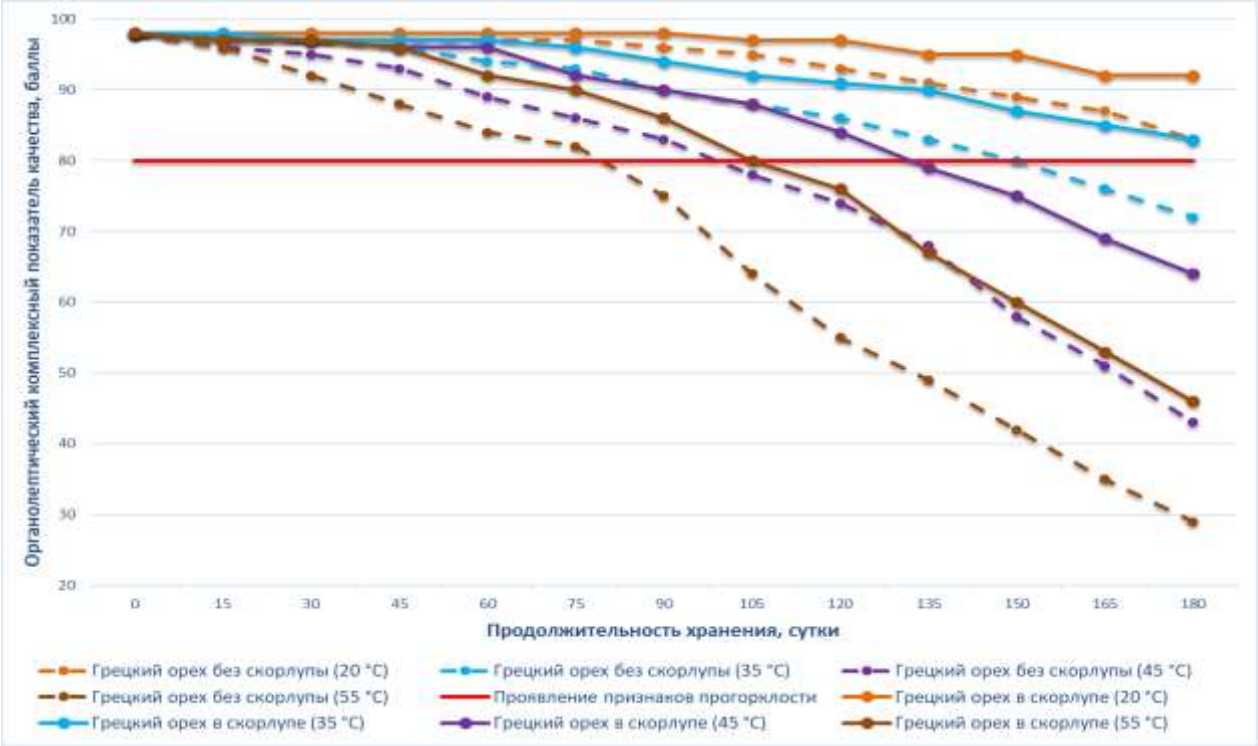


Рисунок 3.1 – Органолептическая оценка грецкого ореха сорта «Урожайный» в процессе хранения в скорлупе и без скорлупы при различных температурных режимах

Источник: составлено автором

Как видно из рисунка 3.1, орехи, хранившиеся в скорлупе, имели лучшие органолептические характеристики при всех температурных режимах хранения по сравнению с орехами, хранившимися без скорлупы. Кроме того, температурные режимы в 45 и 55 °С вызывали значительные изменения органолептических характеристик даже на начальных этапах хранения (после 60 суток хранения). На рисунке 3.2 представлены результаты определения органолептических характеристик в разрезе оцениваемых показателей – вкуса, запаха и внешнего вида. При проведении исследования было установлено, что первоначально признаки прогорклости проявляются в показателе «запах», и только спустя некоторое время хранения в показателе «вкус», поэтому более объективным критерием, характеризующим доброкачественность орехов при хранении, следует считать запах, потом вкус и на более поздних стадиях – изменение цвета ядра и его консистенции.

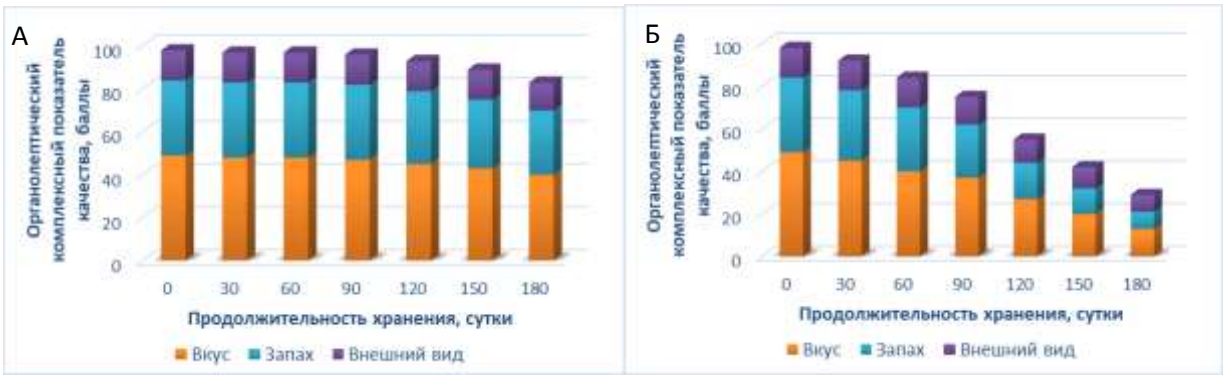


Рисунок 3.2 – Органолептическая оценка ядер грецкого ореха сорта «Урожайный» в разрезе оцениваемых показателей в процессе хранения при 20 °С (а) и при 55 °С (б)

Источник: составлено автором

На основании представленных выше результатов видно, что орехи сорта «Урожайный» хранятся на протяжении минимум 6 месяцев в очищенном виде и 9-12 месяцев в скорлупе без существенных изменений органолептических показателей при рекомендуемых температурных режимах промышленного хранения – 20 °С. При сравнении потенциальной лежкоспособности грецких орехов в скорлупе и без скорлупы было установлено, что дефекты прогорклости возникают в показателе «запах» на 2 месяца раньше в очищенных ядрах по сравнению с орехами в скорлупе, а в показателе «вкус» появляются немного позже, через 2,5-3 месяца при хранении орехов при 35 °С. В соответствии с ГОСТ 16833-2014 «Ядро грецкого ореха. Технические условия» грецкие

орехи реализуют в 5 товарных видах: «половинки», «четвертушки», «крупные кусочки», «мелкие кусочки» и «крупные кусочки и половинки». Чем больше степень измельчения, тем больше площадь контакта ядер орехов с кислородом воздуха, по мере возрастания степени измельчения будет возрастать интенсивность окислительных процессов и снижаться срок годности орехов.

При хранении грецких орехов сорта «Урожайный» при дифференцированных температурных режимах 35, 45 и 55 °С анализ органолептических показателей позволил установить, что динамика изменения показателей «запах» и «вкус» при хранении при температуре 35 °С была наиболее приближена к характеру изменения этих показателей при хранении при 20 °С. Следовательно, рекомендуется проводить ускоренное хранение грецких орехов при температуре 35 °С.

3.3 Влияние режимов ускоренного хранения на динамику органолептических показателей качества грецких орехов, реализуемых на предприятиях розничной торговой сети

На протяжении трех лет (с 2014 по 2017 годы) нами осуществлялся мониторинг качества грецких орехов разных ценовых сегментов, различных производителей, реализуемых в торговых организациях разного типа: гипермаркетах, сетевых магазинах «у дома» и в торговых палатках г. Москвы. Было установлено, что грецкие орехи, реализуемые в гипермаркетах, характеризуются более высоким качеством (количество продукции, имеющей признаки прогорклости в запахе и во вкусе не превышало 5-10 %), в то время как в сетевых магазинах «у дома» качество продукции было значительно ниже и количество продукции, имеющей признаки прогорклости достигало 17-30 %. Наибольшее содержание недоброкачественных орехов было выявлено при закупках в торговых палатках, где содержание орехов с признаками прогорклости достигало 25-40 %. При этом срок годности, указанный на упаковках орехов, имел достаточный временной резерв – от 50 до 80 % установленного срока годности было не реализовано. Продукция, имеющая выраженные признаки прогорклости, относилась к среднему и низкому ценовому сегменту.

Это объясняется тем, что конкретные ботанические сорта, выращенные в разных географических регионах, имеют индивидуальный химических состав, определяющий их уровень окислительной стабильности, на который также оказывают влияние множество внешних факторов на этапах обработки, хранения и логистики. Поэтому орехи из разных

производственных партий имеют различный потенциал лежкоспособности. Эти факторы вносят определенные риски уменьшения лежкоспособности орехов с достаточно высоким уровнем неопределенности возможных последствий. Комплексное воздействие суммы факторов, влияющих на окислительную стабильность орехов на этапах жизненного цикла необходимо учитывать для определения истинного потенциала лежкоспособности, обусловливающего реальные сроки годности индивидуальных закупаемых и реализуемых партий грецких орехов.

Учитывая вышеизложенное, нами, для анализа динамики окислительных процессов во время хранения с целью установления показателей, отражающих уровень окислительной стабильности и обоснования температурных режимов ускоренного хранения орехов, были закуплены грецкие орехи без скорлупы и в скорлупе, реализуемые в гипермаркетах, супермаркетах и на продовольственных рынках г. Москвы. Для исследований были отобраны образцы очищенных грецких орехов наиболее известных производителей, расфасованные в потребительскую упаковку, и образцы грецких орехов в скорлупе. Подробная информация об исследуемых образцах представлена в таблице 2.1.

Для исследований использовались 10 образцов очищенных ядер грецких орехов следующих торговых марок: «Каждый день», «Пикантри», «Good Food», «Natur Foods», «Белкендорф», «Д» («Дикси»), ООО «Комсервис», «Globus», «Семушка», «ФруктОрешки». Выбранные образцы орехов характеризовались отсутствием информации о ботаническом сорте орехов, географическом регионе или стране произрастания орехов, времени сбора продукции и об условиях хранения на этапах товародвижения. Следовательно, исследуемые образцы орехов были обезличены и не содержали информацию, определяющую потенциальный уровень активности радикальных окислительных процессов, протекающих в каждом исследуемом варианте. У каждого из исследуемых образцов орехов сформировался индивидуальный потенциал лежкоспособности. Уровень данного потенциала обусловливает индивидуальный срок годности каждой партии. Производителями для исследуемых образцов грецких орехов были определены следующие сроки годности: для 6 образцов орехов – 6 месяцев, для 1 образца орехов – 9 месяцев и для 3 образцов орехов – 12 месяцев.

С целью изучения динамики окислительных процессов в образцах грецкого ореха, хранившихся в скорлупе и без скорлупы нами была проведена органолептическая оценка с помощью разработанной гедонической шкалы, состоящей из 5 уровней приемлемости: продукт непригоден для употребления (неприемлемо); продукт обладает значительными признаками прогорклости (неприемлемо); продукт обладает незначительными признаками прогорклости (неприемлемо); продукт не обладает признаками прогорклости, но не

производит впечатление свежего (приемлемо); продукт не обладает признаками прогорклости и производит впечатление свежего (приемлемо). Ядра грецких орехов закладывались на хранение при рекомендуемых температурных режимах (20 °С) и при температуре ускоренного хранения – 35 °С. Результаты оценки органолептических показателей качества образцов ядер грецких орехов (образцы № 1, 3, 5 и 10) в соответствии с разработанной словесной гедонической шкалой при хранении при 20 °С и в условиях ускоренного хранения (при 35 °С) представлены на рисунке 3.3. Результаты органолептической оценки всех исследуемых образцов представлены в Приложении А в таблице А.1.

Органолептическая оценка с помощью гедонической шкалы позволила выявить лучшие образцы орехов без скорлупы, которые в дальнейшем использовались для определения некоторых физико-химических показателей окислительной порчи (образцы № 4, 6, 8 и 10). Данные образцы в течение всего срока хранения (154 суток) при рекомендуемых условиях (20 °С) не обладали признаками прогорклости, а при ускоренном хранении первые признаки окисления у них проявились лишь на 3 месяце хранения.

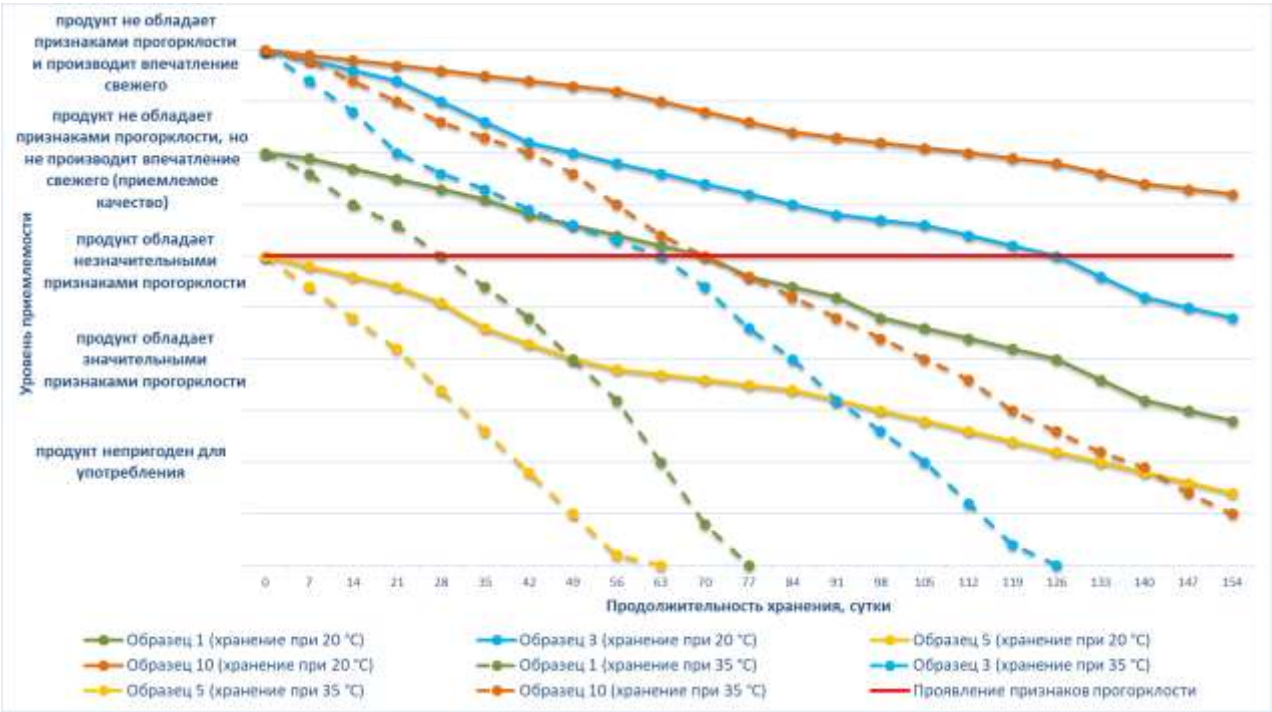


Рисунок 3.3 – Органолептическая оценка образцов ядер грецкого ореха в процессе хранения при различных температурных режимах

Источник: составлено автором

Образец № 5 уже на начальном этапе хранения обладал признаками прогорклости,

которые стремительно развивались с течением времени. Еще 2 образца (№ 1 и 7) при хранении при 20 °С стали обладать признаками прогорклости на 3-4 месяцах хранения и через 2 месяца при ускоренном хранении. У остальных 3 образцов (№ 2, 3 и 9) при хранении в рекомендуемых условиях признаки прогорклости стали проявляться на 5 месяце хранения и на 2 месяце при ускоренном хранении при 35 °С. У всех исследуемых образцов на момент закладки на хранение прошло менее 10 суток от указанной производителем даты изготовления. Таким образом, на конец проведения испытаний, все образцы исследуемых орехов находились в пределах установленных сроков годности, но при этом 8 образцов из 10 на конец установленного срока годности обладали выраженными признаками прогорклости. Полученные данные подтверждают необходимость не только увеличения сроков годности грецких орехов, но и их адекватного установления в зависимости от исходных параметров качества орехов.

Полученные результаты также говорят о значительном варьировании исходного качества продукта и о несоответствии установленного производителем срока годности продукта реальному периоду лежкоспособности орехов у 80 % исследуемых образцов. Стандартами на грецкие орехи не установлены критерии физико-химических показателей окислительной порчи, позволяющие устанавливать реальные сроки годности орехов при приемке партий. В связи с вышеизложенным требуется разработка методов, позволяющих более объективно оценивать возможные сроки годности орехов и применять технологии, способствующие увеличению сроков годности грецких орехов.

Результаты органолептической оценки образцов, реализуемых и хранившихся в скорлупе, показали, что все образцы в процессе хранения (в течение 378 суток при 20 °С) имели приемлемые органолептические показатели без проявления признаков прогорклости (Рисунок 3.4). Первые признаки окислительной порчи стали незначительно проявляться у некоторых образцов орехов, хранившихся в скорлупе, после 315 суток хранения при 20 °С. К тому же, после 273 суток хранения у образцов наблюдалось значительное усыхание, что негативно сказывалось на их внешнем виде и вкусовых характеристиках.

На рисунке 3.5 показана динамика органолептических показателей образца грецкого ореха, хранившегося без скорлупы и в скорлупе при 20 и 35 °С. Как видно из рисунка 3.5, увеличение температуры хранения орехов до 35 °С оказывает значительное влияние на изменение органолептических показателей, способствуя их стремительному снижению. А хранение орехов в скорлупе наоборот позволяет в течение более длительного времени сохранить приемлемые органолептические свойства грецких орехов.

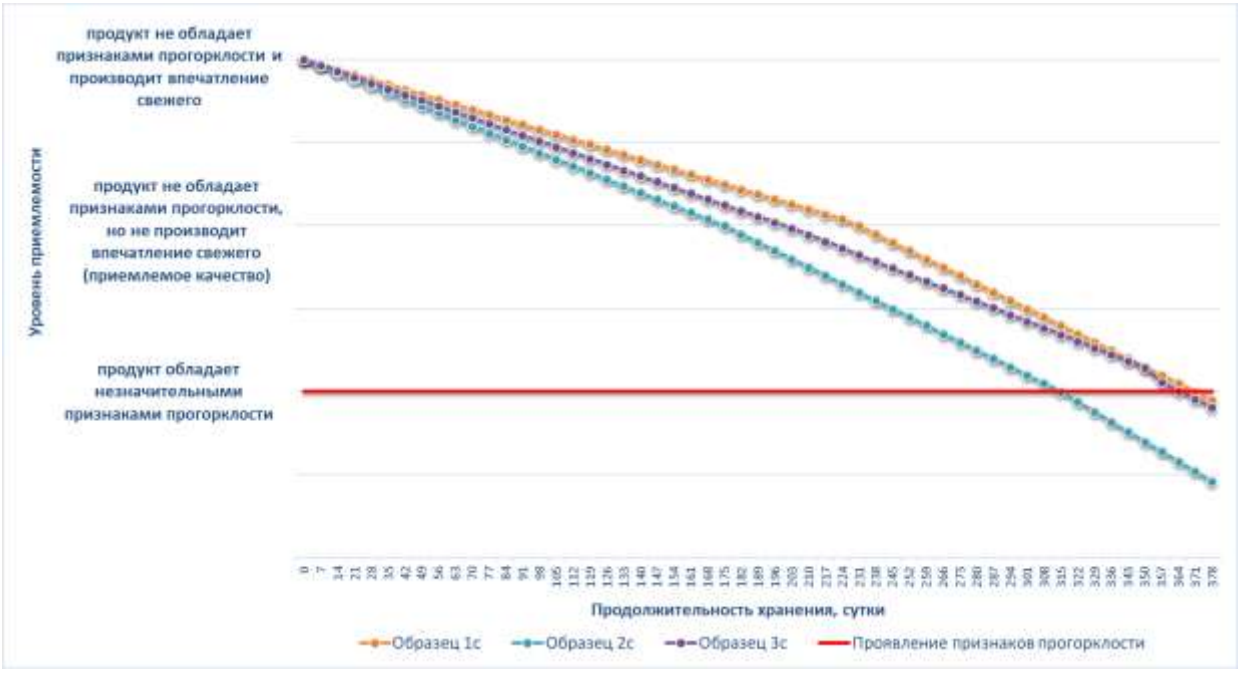


Рисунок 3.4 – Органолептическая оценка исследуемых образцов грецкого ореха в скорлупе в процессе хранения при 20 °С

Источник: составлено автором

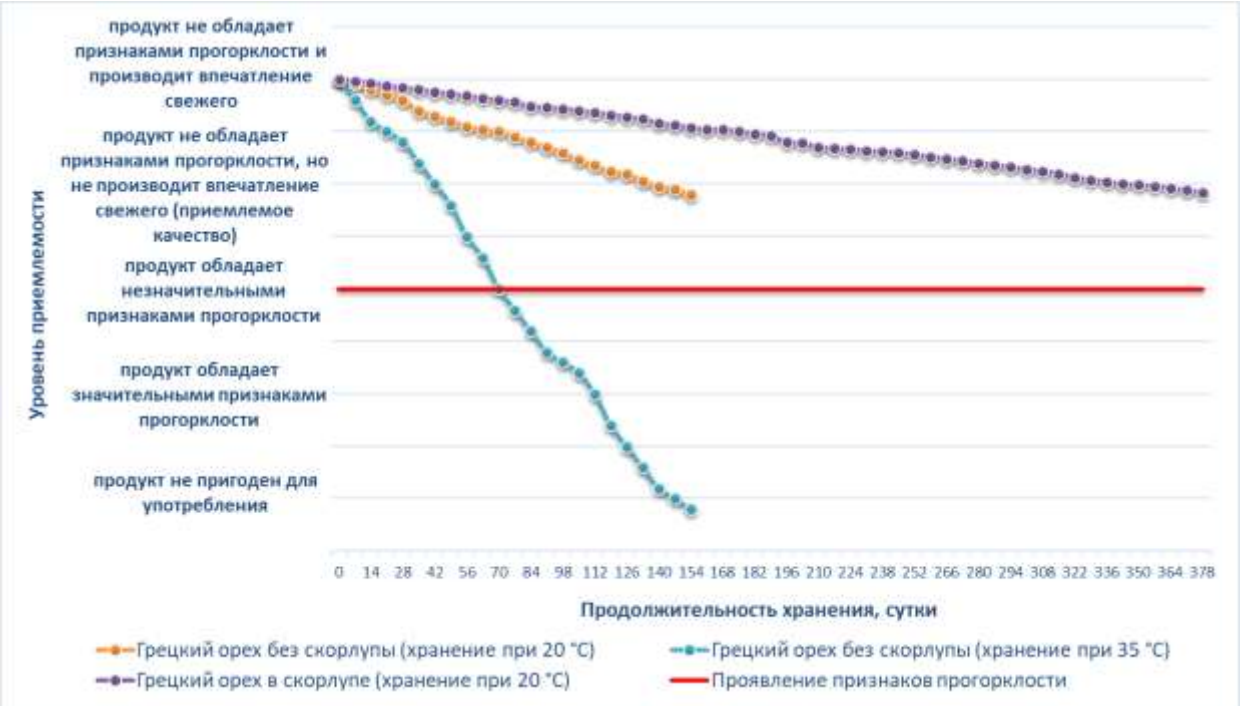
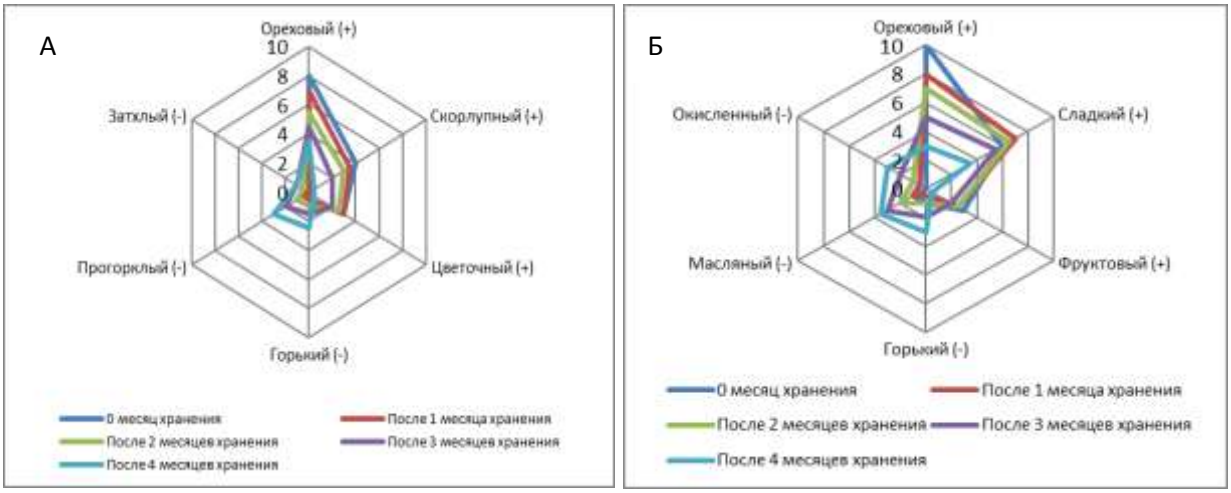


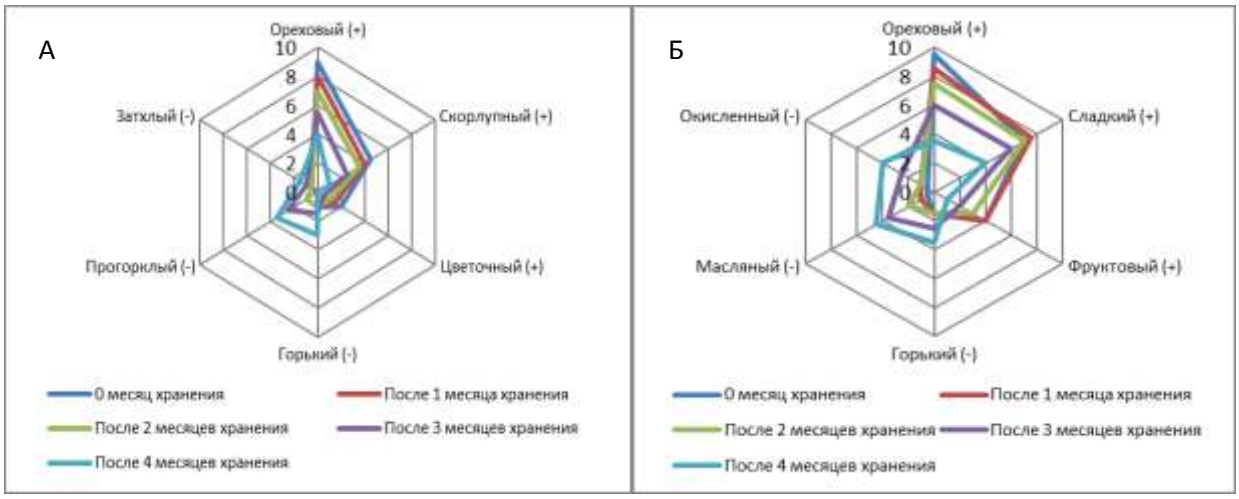
Рисунок 3.5 – Влияние температуры ускоренного хранения грецких орехов на динамику органолептических показателей

Источник: составлено автором

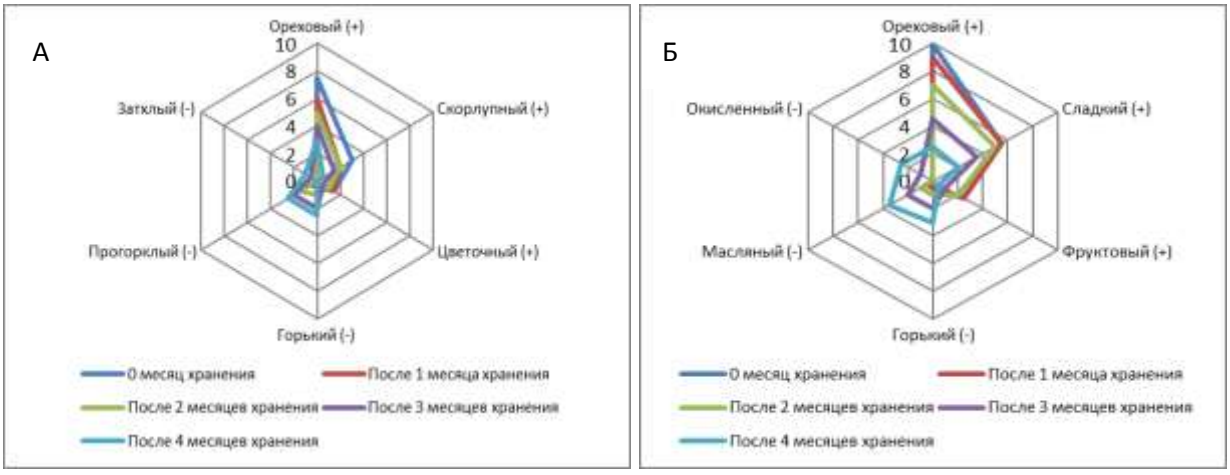
С целью выявления изменений во вкусе и запахе орехов в процессе хранения была проведена профильная оценка качества образцов, признанных лучшими по итогам гедонической органолептической оценки. Результаты органолептической оценки вкуса и запаха грецких орехов профильным методом представлены на рисунке 3.6.



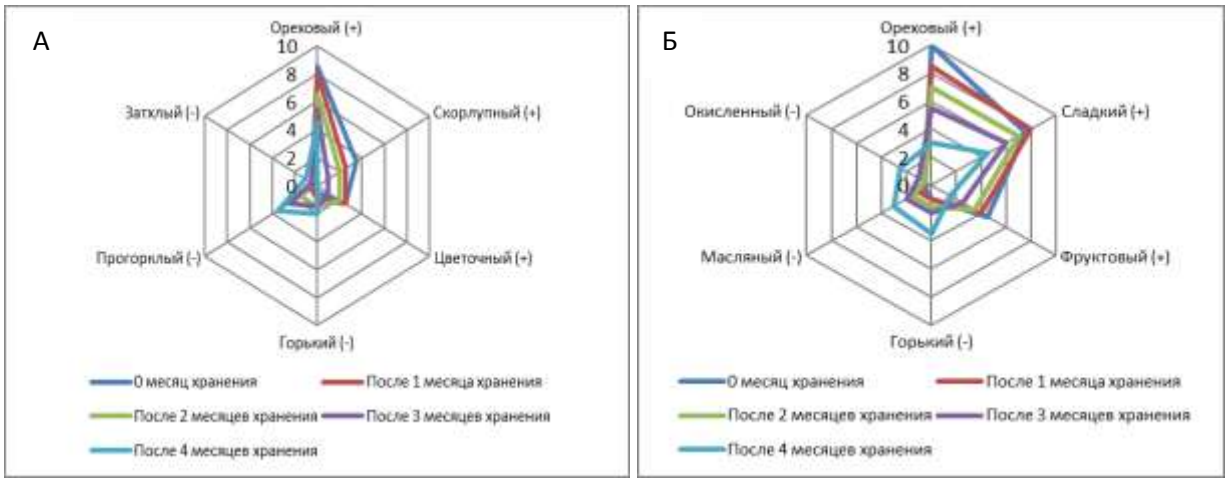
Образец № 4



Образец № 6



Образец № 8



Образец № 10

Рисунок 3.6 – Профилограммы запаха (а) и вкуса (б) образцов ядер грецких орехов в процессе хранения при 20 °С

Источник: составлено автором

Профильная оценка органолептических характеристик вкуса и запаха ядер грецкого ореха показала, что в процессе хранения наблюдается постепенное снижение уровня выраженности орехового, сладкого, скорлупного, цветочного и фруктового дескрипторов запаха и вкуса. При этом сладкий и ореховый дескрипторы вкуса показывают небольшое увеличение интенсивности в процессе первого месяца хранения, что связано с превращением углеводов в процессе хранения. Горький, масляный, прогорклый, затхлый и окисленные дескрипторы вкуса и запаха усиливаются в процессе хранения, что связано с активизацией и развитием окислительных процессов в жирах грецкого ореха.

Аналогичная зависимость изменения органолептических характеристик исследуемых образцов орехов была установлена при ускоренном хранении при 35 °С, только скорость изменения дескрипторов вкуса и запаха была почти в 2 раза выше, чем при хранении при температуре 20 °С. Следовательно, ускоренное хранение орехов при температуре 35 °С адекватно отражает изменение органолептических показателей орехов и соответствует изменению показателей вкуса и запаха при хранении при 20 °С.

3.4 Анализ динамики физико-химических критериев окислительной стабильности грецких орехов при различных температурных режимах ускоренного хранения для обоснования критериев лежкоспособности

Для обоснования выбора критериев лежкоспособности обезличенных партий грецких орехов на конечных этапах товародвижения – на этапе расфасовки и маркировки, необходимо установить физико-химические показатели окислительной порчи, отражающих появление первичных признаков прогорклости в органолептическом показателе «запах» и установить диапазон значений предложенных критериев, ниже которых продукция переходит в категорию нестандартной и не может быть допущена к реализации. Определение основных параметров окислительной порчи проводилось в 10 образцах ядер грецких орехов и в 3 образцах орехов в скорлупе. Орехи хранились при температуре 20, 35, 45 и 55 °С. Определения проводились с интервалом в 7 суток в ядрах орехов и с интервалом в 21 сутки в орехах в скорлупе. Результаты определения кислотного, перекисного, тиобарбитурового чисел и содержания конъюгированных диенов в образцах ядер орехов представлены в Приложении А в таблицах А.2, А.3, А.4 и А.5 соответственно.

Анализ динамики значений кислотного числа в исследуемых образцах показал низкую корреляцию с органолептическими показателями (коэффициент парной корреляции между значениями кислотного числа и органолептическими показателями орехов, хранившихся при 20 и 35 °С составил -0,12 и -0,77 соответственно ($p<0,05$)). В качестве примера на рисунке 3.7 представлены результаты определения кислотного числа в процессе хранения при температуре 20 и 35 °С в 4 образцах ядер грецких орехов, признанных лучшими по результатам органолептической оценки (образцы № 4, 6, 8 и 10). Повышение температуры хранения до 45 и 55 °С способствовало увеличению интенсивности течения окислительной порчи орехов, но не позволило конкретизировать диапазон значений кислотного числа, при которых появляются первые признаки прогорклости орехов. Полученные данные не позволяют использовать значения кислотного числа в качестве критерия лежкоспособности ядер грецкого ореха.

Согласно литературным данным, значение перекисного числа в 5,0 ммоль½О/кг является достаточным, чтобы почувствовать присутствие окисленного запаха, однако для каждого пищевого продукта это значение варьируется в зависимости от химического состава и конкретных органолептических характеристик, присущих продукту [182, 236]. Нами была изучена динамика значений перекисного числа в исследуемых образцах орехов при температурах хранения 20, 35, 45 и 55 °С.

Перекисное число масла исследуемых образцов грецких орехов в процессе хранения постепенно возрастает, что обусловлено накоплением первичных продуктов окисления. Достигнув определенного значения, перекисное число начинало снижаться в результате преобразования первичных продуктов окисления во вторичные (альдегиды и кетоны).

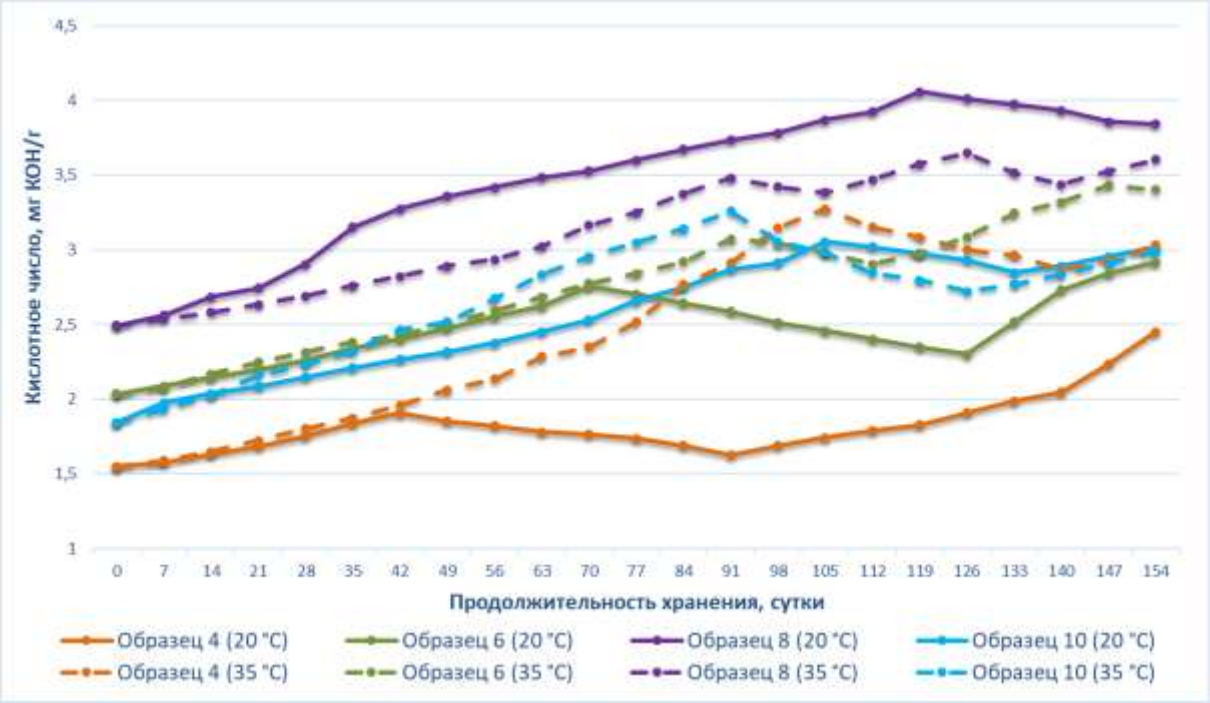


Рисунок 3.7 – Динамика кислотного числа масла ядер грецких орехов, хранившихся при температуре 20 °С и 35 °С

Источник: составлено автором

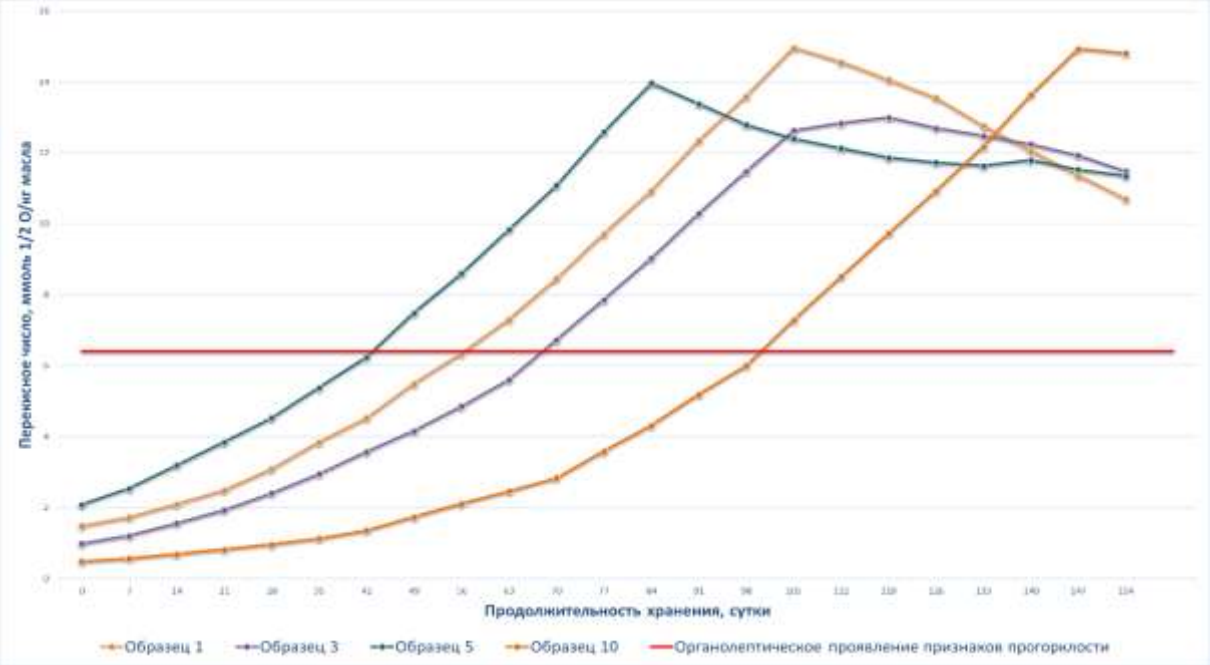


Рисунок 3.8 – Динамика значений перекисного числа масла ядер грецкого ореха в процессе хранения при температуре 35 °С

Источник: составлено автором

Исходные значения перекисного числа масла образцов ядер грецких орехов составляли от 0,4 до 2,1 ммоль½О/кг масла. Значительное варьирование значений перекисного числа обусловлено различным исходным качеством исследуемых образцов. В процессе хранения значение перекисного числа возрастало до значений в 15,0 ммоль½О/кг масла. На рисунке 3.8 представлена динамика значений перекисного числа масла ядер некоторых образцов грецкого ореха, имевших низкий, средний и высокий уровень потенциальной лежкоспособности, хранившихся без скорлупы при температуре 35 °С.

Увеличение температуры хранения орехов до 45 и 55 °С приводило к увеличению скорости роста значений перекисного числа. Нами рассчитана средняя скорость роста перекисного числа масла ядер грецких орехов, хранившихся при различных температурах. Средняя скорость роста определялась как отношение разницы значений перекисного числа на конец периода хранения и на начало хранения к периоду хранения. При этом значение перекисного числа на конец периода хранения определялось до момента начала снижения значений перекисного числа. Скорости роста значений перекисного числа масла исследуемых образцов ядер грецких орехов в среднем среди всех образцов составили 0,05; 0,11; 0,29 и 0,32 (ммоль½О/кг масла)/сутки при хранении орехов при температуре 20, 35, 45 и 55 °С соответственно. Таким образом в процессе ускоренного хранения средняя скорость роста перекисного числа образцов орехов возрастает в 2,2, 5,8 и 6,4 раз при повышении температуры хранения до 35, 45 и 55 °С соответственно по сравнению со значениями, полученными при хранении орехов при 20 °С. Можно сделать вывод, что повышение температуры хранения выше 35 °С приводит к слишком интенсивному образованию перекисных соединений, что не позволяет спроецировать полученные результаты на процессы, протекающие в орехах при хранении при 20 °С.

Изменение значений перекисного числа образцов орехов, хранившихся в скорлупе, по сравнению с изменениями значений перекисного числа орехов, хранившихся без скорлупы, при 20 °С, представлены на рисунке 3.9. Как видно из полученных данных, орехи без скорлупы гораздо быстрее подвергаются окислению, по сравнению с орехами, хранившимися в скорлупе. Такие различия связаны не только с тем, что скорлупа защищает орех от контакта с кислородом воздуха и светом, как основными факторами, способствующими активизации окислительных реакций, но и с тем, что орехи без скорлупы еще до фасовки в потребительскую упаковку хранились определенное время, что способствовало развитию окислительных процессов.

Исходное значение перекисного числа масла орехов, хранившихся в скорлупе, составляло от 0,15 до 0,25 ммоль½О/кг масла, что значительно ниже исходных значений перекисного числа масла образцов грецких орехов, хранившихся без скорлупы. Скорость

роста значений перекисного числа для образцов, хранившихся в скорлупе при 20 °С в среднем составила 0,02 (ммоль½О/кг масла)/сутки (для образцов ядер грецких орехов средняя скорость роста при аналогичных условиях хранения составила 0,05 (ммоль½О/кг масла)/сутки). Таким образом, можно сделать вывод, что скорлупа ореха защищает от окислительных реакций и способствует их замедлению, увеличивая сроки хранения орехов до 2,5 раз. Для наглядного представления результатов определения перекисного числа масла исследуемых образцов ядер грецкого ореха в процессе ускоренного хранения был построен график поверхности (Рисунок 3.10) с использованием усредненных результатов определения значений перекисного числа для всех образцов.

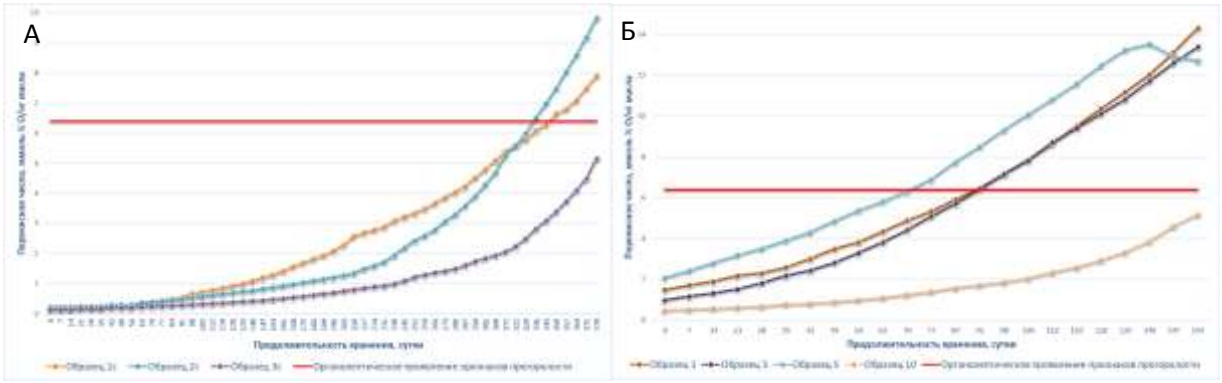


Рисунок 3.9 – Динамика значений перекисного числа масла образцов орехов, хранившихся в скорлупе (а) и без скорлупы (б) при 20 °С

Источник: составлено автором

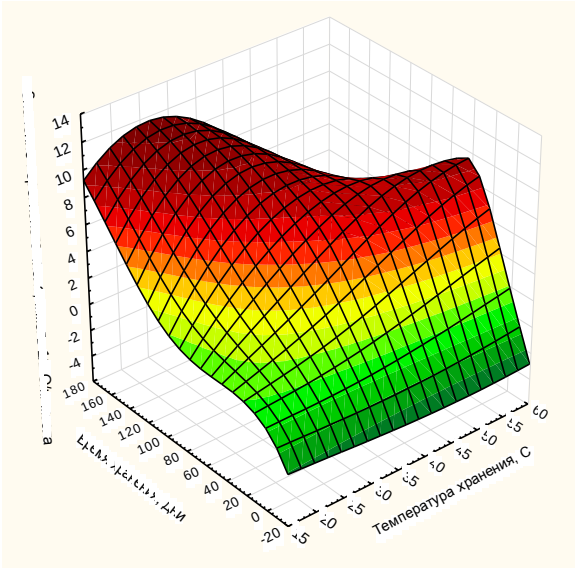


Рисунок 3.10 – Зависимость динамики перекисного числа масла ядер грецкого ореха от температуры и продолжительности хранения

Источник: составлено автором

На основе проведенных исследований динамики перекисного числа масла ядер грецких орехов, нами были определены сроки хранения исследуемых образцов в зависимости от исходных значений перекисного числа в соответствии с результатами органолептических испытаний: образцы, имевшие исходные значения перекисного числа до 1,0 ммоль½О/кг масла имели реальные сроки годности свыше 120 суток, образцы, с исходными значениями перекисного числа в пределах от 1,0 до 1,5 ммоль½О/кг масла хранились от 80 до 120 суток, образцы, имевшие исходные значения перекисного числа свыше 1,5 ммоль½О/кг масла хранились менее 80 суток. При этом все исследуемые образцы имели сроки годности, заявленные производителем на упаковке товара, от 6 до 12 месяцев. Таким образом, полученные данные подтверждают, что производителям необходимо устанавливать сроки годности продукции в зависимости от исходных значений физико-химических показателей окислительной порчи товара.

Для анализа динамики накопления вторичных продуктов окисления при хранении грецких орехов определяли тиобарбитуровое число (ТБЧ), которое характеризует содержание малонового диальдегида. Исходное значение тиобарбитурового числа масла ядер грецких орехов различных торговых марок, приобретенных в торговых предприятиях, варьировалось в широких пределах от 0,025 до 0,146 мг малонового диальдегида/кг масла в зависимости от исходного качества исследуемых образцов. В процессе хранения значение ТБЧ значительно увеличивалось, что обусловливается накоплением вторичных продуктов окислительных реакций – в основном, малонового диальдегида. На рисунке 3.11 представлена динамика значений тиобарбитурового числа масла образцов некоторых ядер грецких орехов, имевших низкий, средний и высокий уровень потенциальной лежкоспособности, хранившихся при 35 °С.

Аналогичным образом нами была рассчитана средняя скорость роста значений тиобарбитурового числа масла ядер орехов в процессе хранения, которая составила в среднем 0,005; 0,012; 0,113 и 0,141 (мг малонового диальдегида/кг масла)/сутки при хранении при 20, 35, 45 и 55 °С соответственно. В процессе ускоренного хранения при температурах 35, 45 и 55 °С скорость роста значений тиобарбитурового числа возрастала в 2,4, 22,6 и 28,2 раза соответственно по сравнению со скоростью роста значений тиобарбитурового числа образцов, хранившихся при 20 °С. Резкое увеличение скорости роста значений ТБЧ при хранении при температурах выше 35 °С не позволяет рекомендовать хранение грецких орехов при 45 и 55 °С в качестве режимов ускоренного хранения.

На рисунке 3.12 представлена динамика значений тиобарбитурового числа масла орехов, хранившихся в скорлупе и без скорлупы при 20 °С. Исходные значения ТБЧ орехов,

хранившихся в скорлупе, составляли от 0,007 до 0,013 мг малонового диальдегида/кг масла. При этом скорость роста значений ТБЧ масла орехов, хранившихся в скорлупе при 20 °С, составила 0,003 (мг малонового диальдегида/кг масла)/сутки.

Рисунок 3.11 – Динамика значений тиобарбитурового числа масла ядер грецких орехов, хранившихся при температуре 35 °С

Источник: составлено автором

А Б

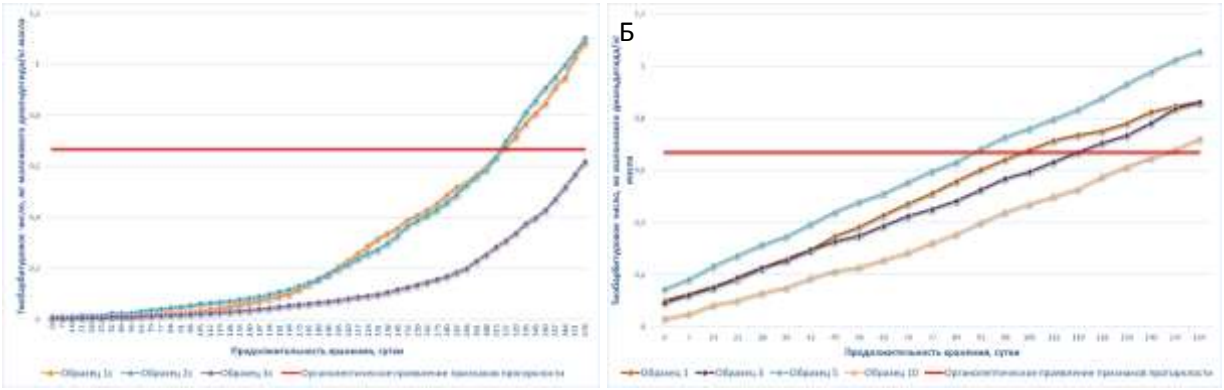


Рисунок 3.12 – Динамика тиобарбитурового числа масла образцов орехов, хранившихся в скорлупе (а) и без скорлупы (б) при 20 °С

Источник: составлено автором

Результаты определения ТБЧ масла исследуемых образцов ядер грецкого ореха в процессе ускоренного хранения наглядно представлены с помощью графика поверхности (Рисунок 3.13) с использованием усредненных результатов определения значений тиобарбитурового числа для всех образцов.

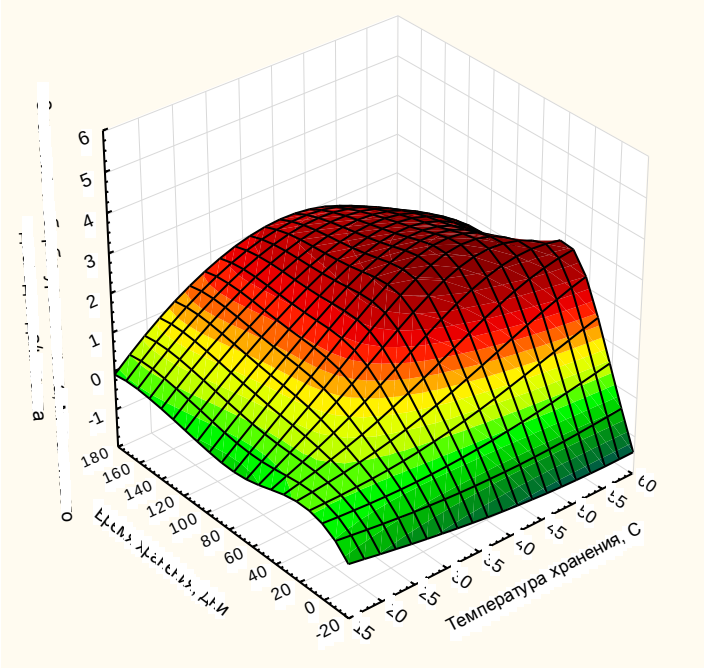


Рисунок 3.13 – Зависимость динамики тиобарбитурового числа масла ядер грецких орехов от температуры и продолжительности хранения

Источник: составлено автором

На основе проведенных исследований динамики тиобарбитурового числа масла ядер грецких орехов, нами были определены сроки хранения исследуемых образцов в зависимости от исходных значений тиобарбитурового числа в соответствии с результатами органолептических испытаний: образцы, имевшие исходные значения тиобарбитурового числа до 0,10 мг малонового диальдегида/кг масла имели реальные сроки хранения свыше 120 суток, образцы, с исходными значениями тиобарбитурового числа в пределах от 0,10 до 0,15 мг малонового диальдегида/кг масла хранились от 80 до 120 суток, а образцы, имевшие исходные значения тиобарбитурового числа свыше 0,15 мг малонового диальдегида/кг масла хранились менее 80 суток.

Продуктами перекисного окисления липидов, образующимися на ранних стадиях окисления жирных кислот, являются конъюгированные диены. Результаты определения содержания конъюгированных диенов в исследуемых образцах ядер грецкого ореха,

показали, что исходное содержание конъюгированных диенов в образцах составляло от 0,8 до 2,4 ммоль/л. В процессе хранения содержание конъюгированных диенов возрастало с течением времени. Жирные кислоты с конъюгированными двойными связями более реакционноспособны и склонны к окислительным процессам и более интенсивно вступают в дальнейшие химические реакции. Динамика содержания конъюгированных диенов в образце ядер грецкого ореха (образец № 10), хранившегося при 20, 35, 45 и 55 °С показана на рисунке 3.14.

Рисунок 3.14 – Динамика содержания конъюгированных диенов в масле ядер грецкого ореха, хранившегося при температуре 20, 35, 45 и 55 °С

Источник: составлено автором

Скорости роста значений содержания конъюгированных диенов в образцах, подвергнутых различным режимам хранения, в среднем составляли 0,009; 0,056; 0,163 и 0,239 (ммоль/л)/сутки при хранении при 20, 35, 45 и 55 °С соответственно. Скорость роста при хранении в режимах ускоренного хранения при температурах 35, 45 и 55 °С увеличивалась в 6,2, 18,1 и 26,6 раз соответственно по сравнению со скоростью роста значений содержания конъюгированных диенов в образцах, хранившихся при 20 °С. Как и по результатам предыдущих исследований, при температуре хранения свыше 35 °С установлено резкое увеличение скорости накопления конъюгированных диенов.

Изменение значений содержания конъюгированных диенов в образцах,

хранившихся в скорлупе и без скорлупы при 20 °С показано на рисунке 3.15. Исходные значения содержания конъюгированных диенов для образцов орехов в скорлупе составляли от 0,6 до 0,8 ммоль/л. Средняя скорость роста значений содержания конъюгированных диенов для данных образцов составила 0,006 (ммоль/л)/сутки.

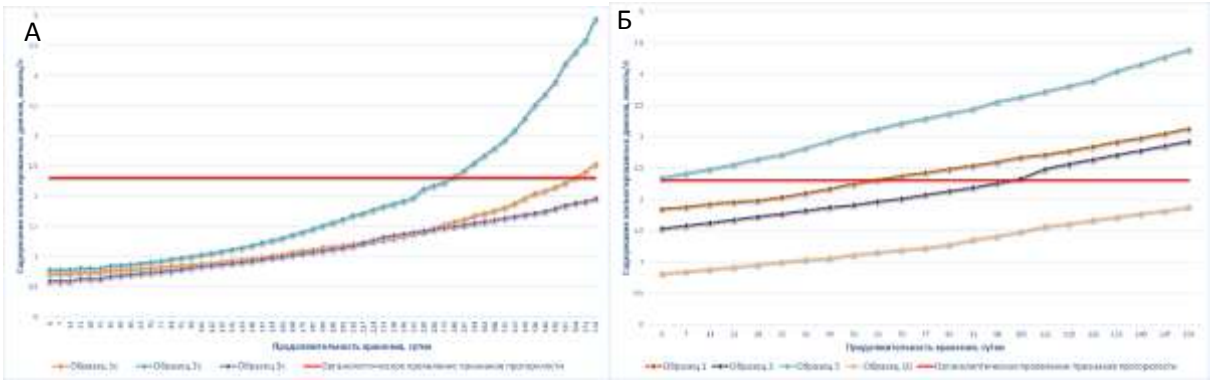


Рисунок 3.15 – Динамика содержания конъюгированных диенов в образцах орехов, хранившихся в скорлупе (а) и без скорлупы (б) при 20 °С

Источник: составлено автором

Наглядно изменение содержания конъюгированных диенов в процессе ускоренного хранения в образцах ядер грецкого ореха представлено на рисунке 3.16 в виде графика поверхности с использованием усредненных результатов определения содержания конъюгированных диенов для всех образцов.

На основе проведенных исследований динамики накопления конъюгированных диенов в масле ядер грецких орехов, нами были определены сроки хранения исследуемых образцов в зависимости от исходных значений содержания конъюгированных диенов в соответствии с результатами органолептических испытаний: образцы, имевшие исходное содержание конъюгированных диенов до 1,5 ммоль/л имели реальные сроки хранения свыше 120 суток, образцы, с исходным содержанием конъюгированных диенов в пределах от 1,5 до 1,9 ммоль/л хранились от 80 до 120 суток, а образцы, имевшие исходное содержание конъюгированных диенов свыше 1,9 ммоль/л хранились менее 80 суток.

На основе совокупности полученных данных было установлено, что хранение ядер грецких орехов при температуре 35 °С способствует ускорению течения окислительных процессов и сокращает сроки хранения продукции в среднем в 2,8 раза по сравнению с хранением ядер грецких орехов при 20 °С. Хранение орехов при 45 и 55 °С способствует слишком стремительному течению окислительных процессов.

Полученные данные по значениям перекисного, тиобарбитурового чисел и

содержанию конъюгированных диенов позволяют установить критические значения данных показателей, характеризующие перевод продукции в категорию нестандартной. Установлена продолжительность сроков годности ядер грецких орехов в зависимости от исходного уровня окислительной стабильности грецких орехов. Отсутствие возможности проследить предысторию производства и хранения поступающих производителю орехов не позволяет адекватно оценить их срок годности в каждой конкретной партии. Поэтому производителю необходимо устанавливать сроки годности орехов исходя из значений физико-химических показателей их окислительной порчи, определенных перед непосредственной подготовкой к реализации и упаковыванием.

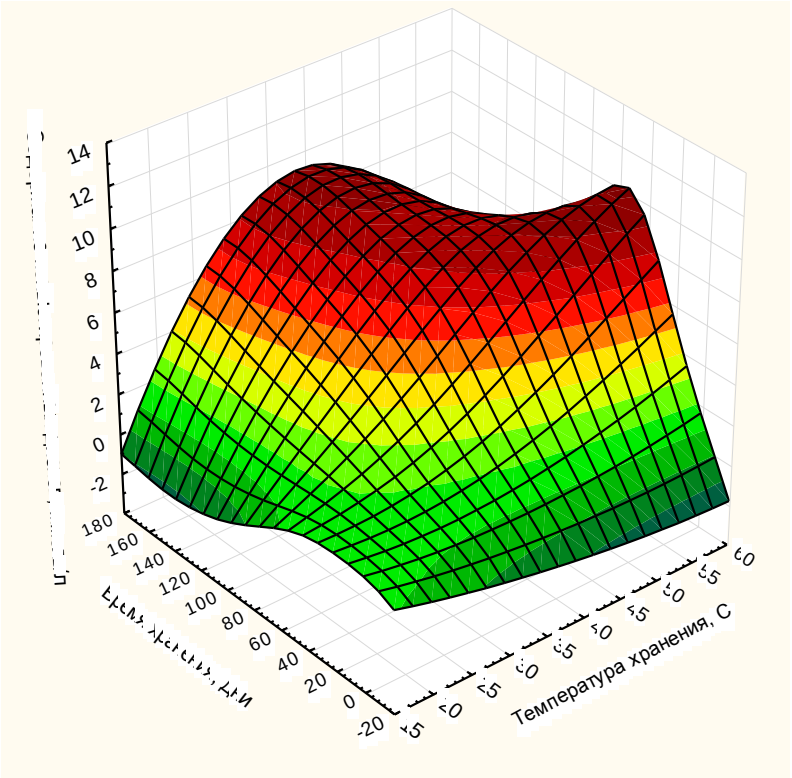


Рисунок 3.16 – Зависимость динамики содержания конъюгированных диенов в масле ядер грецкого ореха от температуры и продолжительности хранения

Источник: составлено автором

3.5 Анализ показателей химического состава ядер грецкого ореха при хранении с целью установления критериев потенциальной лежкоспособности

3.5.1 Анализ динамики жирнокислотного состава масла ядер грецкого ореха при хранении

Принимая во внимание, что полиненасыщенные жирные кислоты, преобладающие в грецких орехах, являются наиболее лабильным компонентом химического состава и существенно влияют на качество орехов и сроки годности, нами изучался жирнокислотный состав масла образцов грецких орехов в процессе хранения. Жирнокислотный состав определялся в 4 образцах ядер грецких орехов (образцы № 4, 6, 8 и 10), признанных лучшими по результатам органолептической оценки из 10 вариантов образцов различных торговых марок, использованных для органолептического и физико-химического анализа. Измерение жирнокислотного состава проводилось в начале исследования, после 2 и 4 месяцев ускоренного хранения образцов при 35 °С. Временной промежуток между определениями выбран исходя из данных органолептической оценки – при появлении первичных признаков окислительной порчи и в период проявления явно выраженных признаков прогорклости во вкусе и запахе. Полученные данные представлены в таблице 3.3.

Основными жирными кислотами грецкого ореха являются линолевая, линоленовая, олеиновая, пальмитиновая и стеариновая кислоты. Содержание ненасыщенных кислот в жирах изученных образцов грецких орехов составляет порядка 85 %, при этом более 70 % приходится на полиненасыщенные жирные кислоты. Жирнокислотный состав исследованных образцов различается между собой, что обусловлено различиями в происхождении орехов. Полученные данные о жирнокислотном составе образцов грецкого ореха согласуются с литературным данным [155, 159, 164, 168, 186, 192, 194, 211, 214, 217, 236, 251, 252, 271]. В процессе хранения содержание полиненасыщенных кислот немного снижалось, в то время как содержание мононенасыщенных и насыщенных жирных кислот постепенно увеличивалось. Это может быть объяснено тем, что ненасыщенные жирные кислоты клеточных мембран и липопротеинов в биологических системах обладают антиоксидантными свойствами. Полиненасыщенные жирные кислоты являются основным субстратом реакций перекисного окисления липидов.

При взаимодействии их с активными радикалами могут образовываться гидрофобные радикалы, которые способны взаимодействовать друг с другом и тормозить процессы окисления. Однако в результате этих процессов происходит изменение состава жирных кислот и их количества. Соотношение ω-3 и ω-6 жирных кислот в исследуемых образцах составляет от 1:5 до 1:4. Рекомендуемое соотношение данных семейств кислот составляет от 1:10 до 1:5 [90]. Большинство ученых считает, что идеальное соотношение ω-3 и ω-6 жирных кислот составляет 1:2 или 1:4 (эскимосы употребляют омега-3 и омега-6 в соотношении 1:1 и имеют самый низкий показатель смертности от сердечно-сосудистых заболеваний на планете).

Таблица 3.3 – Жирнокислотный состав масла образцов ядер грецкого ореха, % от всех жирных кислот

Жирная кислота	Образец 4			Образец 6			Образец 8			Образец 10		
	Период ускоренного хранения, месяц											
	0	2	4	0	2	4	0	2	4	0	2	4
С 14:0 (миристиновая)	0,031±0,003	0,029±0,003	0,028±0,003	0,029±0,003	0,028±0,003	0,028±0,003	0,018±0,002	0,019±0,002	0,022±0,002	0,037±0,004	0,039±0,004	0,041±0,005
С 16:0 (пальмитиновая)	5,721±0,458	5,848±0,468	5,983±0,479	5,295±0,424	5,344±0,428	5,486±0,439	4,974±0,547	5,043±0,403	5,095±0,408	5,821±0,465	6,113±0,489	6,157±0,4923
С 16:1 (пальмитолеиновая)	0,061±0,007	0,058±0,006	0,055±0,006	0,059±0,007	0,054±0,006	0,048±0,005	0,086±0,009	0,075±0,008	0,071±0,008	0,056±0,006	0,047±0,005	0,044±0,005
С 18:0 (стеариновая)	1,977±0,217	2,155±0,237	2,221±0,244	2,463±0,271	2,574±0,283	2,820±0,310	2,115±0,233	2,186±0,240	2,274±0,250	2,093±0,230	2,420±0,266	2,578±0,284
С 18:1 (олеиновая)	15,242±1,219	15,034±1,203	14,823±1,186	16,433±1,314	16,341±1,307	16,197±1,296	17,845±1,428	17,243±1,379	16,744±1,339	15,355±1,228	15,096±1,208	14,837±1,187
С 18:2 (линолевая)	57,823±2,891	57,145±2,857	56,741±2,837	60,717±3,036	59,748±2,987	59,245±2,962	60,343±3,017	60,074±3,004	58,750±2,938	59,486±2,974	58,269±2,913	58,015±2,901
С 18:3 (α-линоленовая)	12,854±1,028	12,573±1,006	11,828±0,946	12,012±0,961	11,341±0,907	11,130±0,890	12,859±1,029	12,235±0,979	11,744±0,939	14,123±1,129	13,557±1,085	12,426±0,994
С 20:0 (арахиновая)	0,092±0,010	0,114±0,013	0,129±0,014	0,075±0,008	0,083±0,009	0,104±0,011	0,123±0,014	0,157±0,017	0,165±0,018	0,102±0,011	0,114±0,013	0,119±0,013
С 20:2 (эйкозадиеновая)	0,037±0,004	0,034±0,004	0,028±0,003	0,036±0,004	0,031±0,003	0,030±0,003	0,046±0,005	0,042±0,005	0,037±0,004	0,025±0,003	0,023±0,003	0,020±0,002
С 22:0 (бегеновая)	0,034±0,004	0,038±0,004	0,043±0,005	0,035±0,004	0,037±0,004	0,039±0,004	0,021±0,002	0,023±0,002	0,027±0,003	0,032±0,004	0,034±0,004	0,037±0,004
Содержание насыщенных жирных кислот	**7,855±0,628**	**8,184±0,655**	**8,404±0,672**	**7,897±0,632**	**8,066±0,645**	**8,477±0,678**	**7,251±0,580**	**7,428±0,594**	**7,583±0,607**	**8,085±0,647**	**8,720±0,698**	**8,932±0,715**
Содержание мононенасыщенных жирных кислот	**15,303±1,224**	**15,092±1,207**	**14,878±1,190**	**16,489±1,319**	**16,395±1,312**	**16,245±1,299**	**17,931±1,434**	**17,318±1,385**	**16,815±1,345**	**15,411±1,233**	**15,143±1,211**	**14,881±1,191**
Содержание полиненасыщенных жирных кислот	**70,714±3,536**	**69,752±3,488**	**68,596±3,430**	**72,765±3,638**	**71,120±3,556**	**70,405±3,520**	**73,248±3,662**	**72,351±3,618**	**70,531±3,527**	**73,634±3,682**	**71,849±3,593**	**70,461±3,523**
Соотношение ω-3/ω-6	**1:5**	**1:5**	**1:5**	**1:5**	**1:5**	**1:5**	**1:5**	**1:5**	**1:5**	**1:4**	**1:4**	**1:5**

Источник: составлено автором

В Швеции рекомендуется соотношение ω-3 и ω-6 как 1:5, а в Японии как 1:2 [55, 72, 152, 198, 251]. Таким образом, грецкие орехи не только являются источником необходимых для организма жирных кислот, но и имеют оптимальное их соотношение для нормального удовлетворения физиологических потребностей организма. Длительные сроки хранения и повышенные температуры приводят к снижению биологической эффективности масел грецкого ореха. Однако, характерных изменений в динамике жирнокислотного состава масла грецких орехов, коррелирующих с интенсивностью протекающих окислительных процессов и органолептическими показателями, которые могут быть использованы для прогнозирования сроков годности, не установлено.

3.5.2 Изучение динамики аминокислотного состава белков грецкого ореха в процессе ускоренного хранения

Изучение аминокислотного состава 4 образцов ядер грецких орехов (образцы № 4, 6, 8 и 10), проводилось перед закладкой на хранение и после 4 месяцев ускоренного хранения при 35 °С. Результаты определения аминокислотного состава образцов представлены в таблице 3.4. Реакции перекисного окисления липидов являются свободнорадикальными реакциями, которые постоянно протекают в биосистемах и могут нарушать структуру многих молекул. Свободные радикалы могут нарушать первичную, вторичную и третичную структуру белков. Такие нарушения могут вызывать деградацию белковых молекул или их агрегацию.

Наиболее часто при повреждении белков образуются карбонильные группы в результате окисления таких аминокислот, как лизин, пролин и аргинин. Как видно из данных, представленных в таблице 3.4, снижение содержания аминокислот в исследуемых образцах происходило на протяжении всего периода хранения, и величина снижения содержания аминокислот для разных исследуемых образцов грецких орехов зависела от индивидуального состава образца.

Результаты проведенного анализа показывают, что в процессе хранения значительно снижается содержание аминокислот, что говорит об уменьшении пищевой ценности грецких орехов. Аналогичное снижение содержания белка было нами установлено и при изучении динамики содержания белков в модельной системе при хранении грецкого ореха сорта «Урожайный» в широком диапазоне температур (от 20 °С до минус 18 °С).

Таблица 3.4 – Аминокислотный состав образцов грецкого ореха, % от всех аминокислот

Аминокислоты	**Образец 4**		**Образец 6**		**Образец 8**		**Образец 10**	
	Период ускоренного хранения, месяц							
	0	**4**	**0**	**4**	**0**	**4**	**0**	**4**
Аспарагин	8,32±0,67	6,54±0,52	9,07±0,73	7,13±0,57	8,05±0,64	5,69±0,45	8,94±0,72	7,21±0,58
Глутамин	20,74±1,66	17,32±1,39	18,34±1,47	16,79±1,34	19,48±1,56	18,05±1,44	16,24±1,29	14,23±1,14
Серин	4,28±0,47	3,68±0,41	5,03±0,40	3,97±0,44	3,88±0,43	3,01±0,33	4,12±0,45	3,65±0,40
Глицин	4,25±0,47	3,85±0,42	4,73±0,52	2,79±0,31	3,82±0,42	2,35±0,26	4,56±0,50	3,21±0,35
Гистидин	2,24±0,25	2,03±0,22	2,09±0,23	1,85±0,20	2,37±0,26	2,01±0,22	2,34±0,26	1,97±0,22
Аргинин	12,62±1,01	11,74±0,94	12,48±0,99	10,85±0,87	13,27±1,06	11,42±0,91	12,22±0,98	10,67±0,86
Треонин	2,99±0,33	2,64±0,29	2,74±0,30	2,33±0,26	3,02±0,33	2,76±0,30	2,85±0,31	2,51±0,28
Аланин	4,52±0,49	4,20±0,46	4,29±0,47	3,85±0,42	4,45±0,49	4,21±0,46	3,87±0,43	3,59±0,39
Пролин	5,21±0,42	4,33±0,48	4,72±0,52	4,15±0,46	4,39±0,48	3,76±0,41	5,08±0,41	4,48±0,49
Валин	4,25±0,47	3,99±0,44	4,03±0,44	3,54±0,39	4,57±0,50	4,29±0,47	3,85±0,42	3,57±0,39
Метионин	2,10±0,23	1,83±0,20	1,86±0,20	1,54±0,17	1,57±0,17	1,03±0,11	1,82±0,20	1,46±0,16
Цистеин	0,39±0,04	0,27±0,03	0,42±0,04	0,31±0,03	0,49±0,05	0,28±0,03	0,40±0,04	0,32±0,04
Изолейцин	3,76±0,41	3,50±0,39	4,03±0,44	3,42±0,38	3,64±0,40	2,79±0,31	3,25±0,36	2,83±0,31
Лейцин	6,94±0,56	6,52±0,52	7,32±0,59	6,83±0,55	6,09±0,49	5,61±0,45	6,37±0,51	5,82±0,47
Фенилаланин	4,12±0,45	3,74±0,41	3,84±0,42	3,19±0,35	4,25±0,47	3,76±0,41	4,51±0,49	4,13±0,45
Тирозин	2,42±0,27	1,73±0,19	3,31±0,36	3,05±0,34	2,87±0,31	1,52±0,17	2,65±0,29	1,98±0,22
Лизин	2,35±0,26	2,06±0,23	2,12±0,23	1,87±0,21	2,86±0,31	2,59±0,29	2,73±0,30	2,41±0,27
Триптофан	0,50±0,06	0,47±0,05	0,57±0,06	0,49±0,05	0,63±0,07	0,52±0,06	0,49±0,05	0,37±0,04

Источник: составлено автором

Аналогичная диссимиляция белков при длительном хранении была отмечена в работах Страховой С. при исследовании 8 сортов грецких орехов, выращенных в разных географических зонах [126]. При этом нами была установлена прямая зависимость между скоростью диссимиляции белков и температурой хранения. При снижении температуры хранения снижается интенсивность гидролиза белков и, соответственно, аминокислот. Из анализа полученных результатов видно, что нельзя использовать полученную динамику снижения содержания аминокислот в ядрах грецких орехов в качестве критерия для прогнозирования сроков годности грецких орехов.

3.5.3 Анализ динамики содержания токоферолов в ядрах грецких орехов в процессе ускоренного хранения

Существуют восемь химических форм растительных токоферолов (витамина Е), которые в своем комплексе называются витамином Е. Токоферолы содержатся в больших количествах в маслах грецких орехов и выполняют функцию антиоксидантов. Токоферол передает атом водорода свободному радикалу пероксида липида, восстанавливает его до гидроперекиси и тем самым останавливает развитие радикальной реакции перекисного окисления липидов. Аскорбиновая кислота также является антиоксидантом и одним из механизмов ее действия является восстановление окисленных форм токоферолов. Поэтому сохраняя в орехах токоферолы и аскорбиновую кислоту при товародвижении можно увеличить продолжительность антиоксидантной активности токоферолов и продлить индукционный период в липидах орехов.

Исследование фракционного состава токоферолов в масле грецких орехов показало, что основными токоферолами являются α-, γ- и δ-токоферолы. При этом α-токоферолы обладают витаминной активностью, а γ-токоферолы имеют максимальную антиоксидантную активность. Количественное их содержание в масле грецкого ореха представлено в таблице 3.5. Определение содержания токоферолов проводилось в начале хранения, а также спустя 2 и 4 месяца ускоренного хранения при температуре 35 °С в образцах орехов с высоким исходным качеством (образцы № 4, 6, 8 и 10).

Содержание токоферолов в различных образцах, так же, как и жирнокислотный состав, значительно варьируется в зависимости от ботанического сорта, места произрастания и т.п. [252]. Во всех исследуемых образцах во фракционном составе токоферолов выявлено наибольшее содержание γ-токоферола, за ним в порядке

уменьшения следуют δ- и α-токоферолы. Полученные данные коррелируют с литературными данными [3, 202, 226, 246, 251, 255]. β-токоферол был обнаружен в грецких орехах только в следовых количествах, в ряде работ также было установлено незначительное количество β-токоферола (от 1,0 до 3,1 мг/100 г масла). В процессе хранения содержание токоферолов в образцах грецкого ореха значительно уменьшалось, что связано с их постепенным разрушением. Общее содержание токоферолов через 4 месяца хранения составляло лишь 15-37 % от исходного их содержания, причем δ- и α-токоферолы в процессе хранения подверглись полному разрушению.

Большой интерес представляет анализ динамики γ-токоферола в процессе ускоренного хранения образцов ядер грецких орехов. На рисунке 3.17 представлена характеристика изменения содержания γ-токоферола через 2 месяца ускоренного хранения, в период появления начальных признаков перекисного окисления жира, и через 4 месяца хранения, когда окислительные процессы активно протекали и сопровождались устойчивым выраженным изменением вкуса и запаха орехов. Как видно из представленных данных, к моменту активизации перекисного окислении липидов происходит резкое снижение содержания γ-токоферолов, обладающих максимальным уровнем антирадикальной активности. Появление первых признаков изменения запаха и вкуса орехов совпадает с завершением индукционного периода (после 2 месяцев ускоренного хранения при 35 °С органолептические показатели перешли в статус неприемлемых). В этот период происходит резкое (в среднем в 2 раза) снижение содержания γ-токоферолов: в 4 образце – в 2,0 раза, в 6 образце – в 1,8 раза, в 8 образце – в 1,6 раза и в 10 образце – в 2,2 раза. При этом коэффициент корреляции между содержанием γ-токоферолов и органолептическими показателями в среднем среди исследуемых образцов составляет 0,88 ($p<0,005$), что подтверждает высокую степень взаимосвязи между снижением содержания γ-токоферолов и изменением органолептических характеристик. Исходное содержание γ-токоферолов и темпы его снижения варьируют и зависят как от ботанического сорта орехов, района произрастания и т.п., так и от условий и времени хранения орехов после сбора. Однако факт снижения содержания γ-токоферолов в 1,5-2 раза свидетельствует об окончании индукционного периода и активизации перекисного окисления.

Учитывая, что 2 месяца ускоренного хранения это слишком продолжительный срок для изучения динамики содержания γ-токоферолов в производственных условиях, мы провели исследования при более высокой температуре – при 55 °С в исследуемых 4 образцах грецких орехов. Динамика содержания γ-токоферолов представлена на рисунке 3.18. Как и при хранении при 35 °С, в образцах при хранении при 55 °С протекали реакции окисления по аналогичной закономерности.

Таблица 3.5 – Содержание токоферолов в масле грецкого ореха

Токоферолы	**Образец 4**			**Образец 6**		
	Период ускоренного хранения, месяц					
	0	**2**	**4**	**0**	**2**	**4**
α-токоферол, мг/кг	11,32±0,31	3,48±0,15	-	9,87±0,15	2,48±0,10	-
β-токоферол, мг/кг	-	-	-	-	-	-
γ-токоферол, мг/кг	187,87±1,75	95,48±1,15	34,15±0,75	203,45±2,42	116,82±1,50	73,48±1,10
δ-токоферол, мг/кг	11,01±0,51	5,34±0,32	-	11,74±0,35	6,74±0,23	-
Общее содержание токоферолов, мг/кг	**210,20±2,57**	**104,30±1,62**	**34,15±0,75**	**225,06±2,92**	**126,04±1,83**	**73,48±1,10**
	Образец 8			**Образец 10**		
	Период ускоренного хранения, месяц					
	0	**2**	**4**	**0**	**2**	**4**
α-токоферол, мг/кг	13,48±0,24	7,69±0,15	2,74±0,05	10,57±0,32	4,74±0,13	-
β-токоферол, мг/кг	-	-	-	-	-	-
γ-токоферол, мг/кг	247,68±1,85	154,60±1,34	98,47±0,87	223,47±1,55	101,34±1,12	52,78±0,40
δ-токоферол, мг/кг	13,85±0,33	6,48±0,22	-	9,68±0,25	2,47±0,07	-
Общее содержание токоферолов, мг/кг	**275,01±2,42**	**168,77±1,71**	**101,21±0,92**	**243,72±2,12**	**108,55±1,32**	**52,78±0,40**

Источник: составлено автором

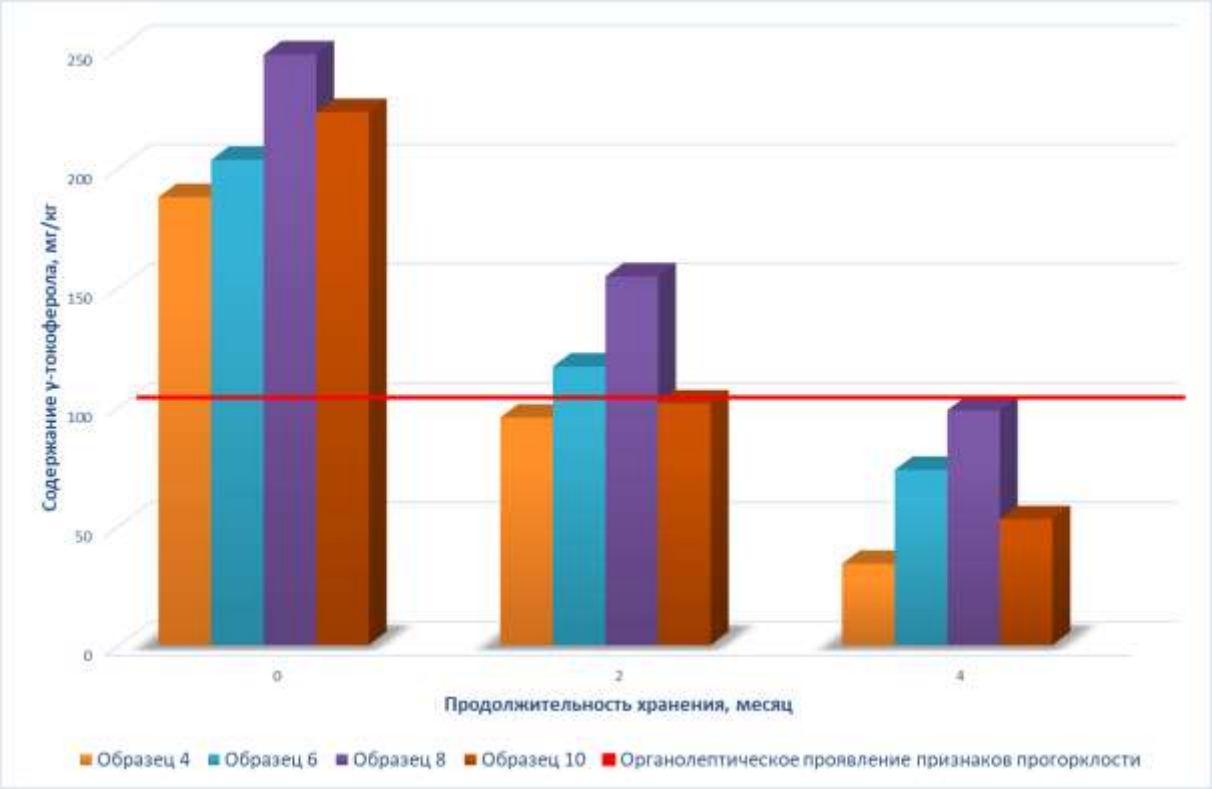


Рисунок 3.17 – Динамика содержания γ-токоферола в образцах ядер грецких орехов в процессе хранения при 35 °С

Источник: составлено автором

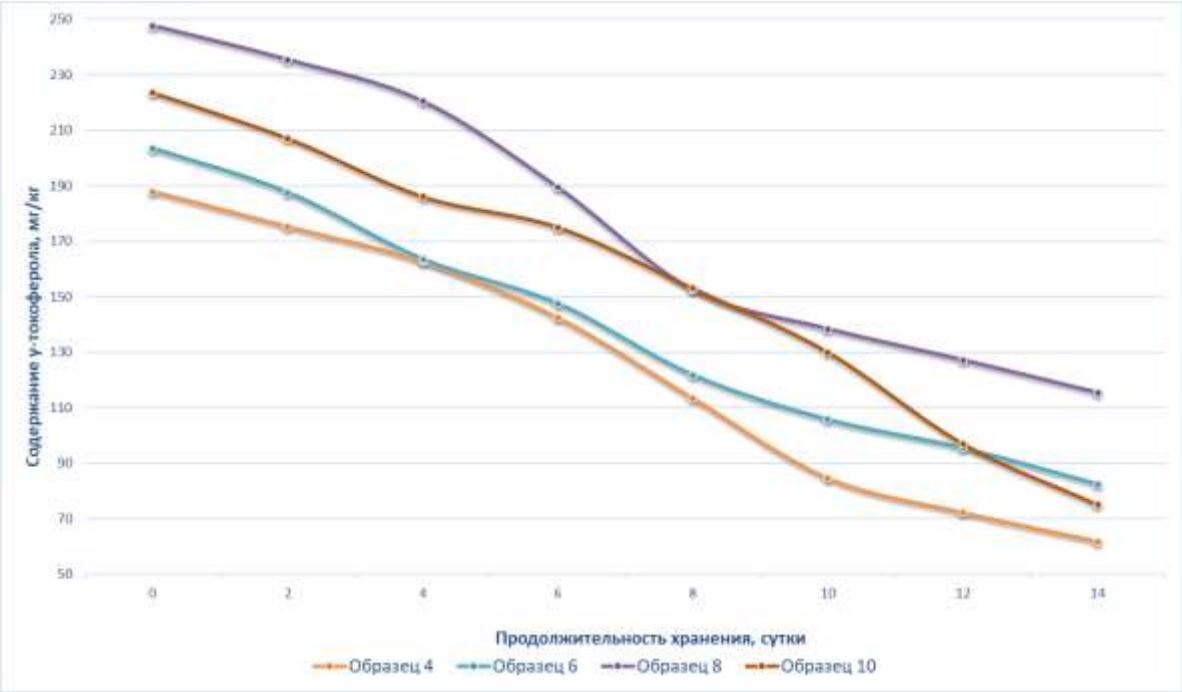


Рисунок 3.18 – Динамика содержания γ-токоферола в образцах ядер грецких орехов в процессе хранения при 55 °С

Источник: составлено автором

При этом снижение содержания γ-токоферолов в 2 раза в среднем по изучаемым образцам произошло уже после 10 суток ускоренного хранения при 55 °С. Полученные данные по изменению содержания токоферолов в грецких орехах подтверждают возможность использования метода определения периода времени, в течение которого происходит снижение содержания токоферолов в два раза при ускоренном хранении при температуре 55 °С в качестве критерия, характеризующего завершение индукционного периода.

3.5.4 Определение состава и содержания летучих соединений, формирующих запах орехов в процессе хранения

Летучие соединения грецкого ореха включают в себя низкомолекулярные соединения, такие как n-алканы, алифатические спирты, альдегиды и производные фурана. Наибольшую долю занимают насыщенные и ненасыщенные альдегиды. Алканы и альдегиды в масле грецкого ореха образуются из ненасыщенных жирных кислот (в основном линоленовой) в процессе окисления [265]. Некоторые летучие соединения, такие как пентаналь, 2-гептаналь, 2-октеналь образуются в результате ферментативных и окислительных превращений [180]. Спирты также образуются в процессе окисления жиров орехов (1-гептанол, транс-гексен-4-ол) в процессе химических превращений гидропероксидов [148]. Результаты определения состава и содержания летучих соединений представлены в таблице 3.6. Определения проводились в 4 образцах ядер грецких орехов (№ 4, 6, 8 и 10) в начале хранения, а также спустя 2 и 4 месяца ускоренного хранения при 35 °С.

Согласно литературным данным, в орехоплодных содержится более 80 летучих соединений. Ученым Kiefl и др. [215] удалось идентифицировать 22 летучих соединения в фундуке, 30 летучих соединений в миндале [149]. Качественный и количественный состав летучих соединений значительно разнится в зависимости от ботанических сортов, условий и мест произрастания орехов, условий хранения и т.п. Большинство летучих веществ, появляющихся после обжарки, представлено веществами, образующимися в результате реакции Майяра, а именно пиразины, спирты, терпены и фураны [204].

В грецких орехах в результате исследований было идентифицировано 23 летучих соединения, которые представлены в основном кетонами, альдегидами и ароматическими углеводородами. Среди вышеперечисленных в образцах орехов также встречались

пиразины, терпены, пироллы, спирты и кислоты. Известно, что такие летучие соединения, как бутановая кислота и гексаналь являются продуктами окисления липидов. Важно отметить, что среди летучих компонентов грецкого ореха также идентифицированы гексанол и α-пинен, которые свойственны свежим грецким орехам.

Учитывая, что первые признаки окисления в процессе хранения нами были установлены в органолептическом показателе «запах», было сделано предположение, что при протекании окислительных процессов в липидах образуются соединения, имеющие специфический «прогорклый» запах, который усиливается в процессе дальнейшего окисления. Все обнаруженные летучие соединения были разделены на 2 группы:

- летучие соединения, формирующие типичный запах грецких орехов (2-метилбутаналь, 3-метилбутаналь, α-пинен, 2,3,5-триметилфуран, 2,3-пентандион, 3-пентен-2-он, 2-гептанон, 2-метилпиразин, 1,2,4-триметилбензол, 5-метил-2-гептен-4-он, 2,5-диметилпиразин, 6-метил-5-гептен-2-он, 1-гептанол, бензальдегид);

- летучие соединения, появившиеся в результате окислительных превращений жиров грецкого ореха и формирующие запах окисленного жира (2-пентанон, 3-метил-2-пентанон, гексаналь, пропаналь, нонаналь, 2-пентанол, 2-пентилфуран, бутановая кислота, транс-гексен-4-ол).

Нами было установлено, что в процессе хранения в результате окисления ненасыщенных жирных кислот образуются свободные жирные кислоты, такие как бутановая кислота и карбонилсодержащие компоненты, и альдегиды, такие как гексаналь и 2-гексаналь. Основными идентифицированными летучими веществами масла исследуемых образцов грецкого ореха являются 3-метилбутаналь, 2,3,5-триметилфуран, 3-пентен-2-он, 2-гептанон, 5-метил-2-гептен-4-он, 2,5-диметилпиразин.

Типичная хроматограмма разделения летучих соединений ядер грецкого ореха представлена на рисунке 3.19. Альдегиды и пирозины, а также некоторые кетоны (гептанон, 5-метил-2-гептен-4-он) в основном обладают фруктовым, сладким, ореховым, земляным запахом. Тем не менее, альдегиды являются потенциальными окислителями. Свободные аминокислоты, присутствующие в грецком орехе, являются одним из важнейших компонентов, влияющих на общий запах грецкого ореха. Аналогичные данные были получены в отношении фундука и арахиса [171, 275].

В результате исследований в процессе хранения наблюдалось значительное накопление таких летучих соединений, как гексаналь, пропаналь и нонаналь, которые обладают в больших концентрациях неприятным жирным, салистым, окисленным запахом (Рисунок 3.20).

Таблица 3.6 – Состав и содержание летучих компонентов образцов грецкого ореха, мг/кг

Летучий компонент	Образец 4			Образец 6			Образец 8			Образец 10		
	Период ускоренного хранения, месяц											
	0	2	4	0	2	4	0	2	4	0	2	4
2-метилбутаналь	0,061±0,004	0,012±0,001	-	0,085±0,006	0,026±0,002	-	0,073±0,005	-	-	0,053±0,004	0,022±0,002	0,012±0,001
3-метилбутаналь	0,198±0,014	0,059±0,004	0,024±0,002	0,184±0,013	0,042±0,003	-	0,216±0,015	0,095±0,007	0,042±0,003	0,164±0,011	0,039±0,003	-
α-пинен	0,032±0,002	-	-	0,016±0,001	-	-	0,043±0,003	0,002±0,0001	-	0,027±0,002	-	-
2,3,5-триметилфуран	0,248±0,017	0,134±0,009	0,024±0,002	0,196±0,014	0,087±0,006	0,035±0,002	0,224±0,016	0,075±0,005	0,014±0,001	0,189±0,013	0,113±0,008	0,049±0,003
2,3-пентандион	0,040±0,003	-	-	0,032±0,002	-	-	0,028±0,002	-	-	0,037±0,003	0,003±0,0002	-
3-пентен-2-он	0,803±0,056	0,318±0,022	0,149±0,010	0,761±0,053	0,284±0,019	0,068±0,005	0,519±0,036	0,138±0,009	0,042±0,003	0,934±0,065	0,561±0,039	0,202±0,014
2-гептанон	0,167±0,012	0,064±0,004	0,033±0,002	0,138±0,009	0,072±0,005	0,029±0,002	0,114±0,008	0,084±0,006	0,012±0,001	0,165±0,012	0,038±0,003	-
2-метилпиразин	0,002±0,0001	0,005±0,0001	0,003±0,0001	0,001±0,0001	-	-	0,003±0,0002	0,002±0,0001	-	0,002±0,0001	0,003±0,0002	0,001±0,0001
1,2,4-триметилбензол	0,034±0,002	0,039±0,002	0,017±0,001	0,026±0,002	0,020±0,001	0,012±0,001	0,032±0,002	0,014±0,001	-	0,043±0,003	0,038±0,003	0,015±0,001
5-метил-2-гептен-4-он	0,227±0,016	0,134±0,009	0,075±0,005	0,329±0,023	0,182±0,013	0,064±0,005	0,228±0,016	0,095±0,007	0,037±0,003	0,267±0,019	0,109±0,008	0,054±0,004
2,5-диметилпиразин	0,194±0,014	0,073±0,005	-	0,216±0,015	0,038±0,003	-	0,334±0,023	0,107±0,008	0,023±0,002	0,239±0,017	0,095±0,007	0,012±0,001
6-метил-5-гептен-2-он	0,037±0,003	0,007±0,001	-	0,030±0,002	-	-	0,024±0,002	-	-	0,031±0,002	-	-
1-гептанол	0,026±0,002	0,008±0,001	-	0,019±0,001	-	-	0,034±0,002	0,005±0,0003	-	0,028±0,002	0,003±0,0002	-
Бензальдегид	0,034±0,002	0,013±0,001	-	0,026±0,002	-	-	0,037±0,003	0,008±0,001	-	0,044±0,003	0,011±0,001	-
2-пентанон	0,008±0,001	0,016±0,001	0,027±0,002	0,003±0,0002	0,014±0,001	0,039±0,003	-	0,005±0,0003	0,019±0,001	0,004±0,0002	0,012±0,001	0,027±0,002
3-метил-2-пентанон	-	0,022±0,002	0,073±0,005	-	0,020±0,001	0,048±0,003	-	0,019±0,001	0,054±0,004	-	0,008±0,001	0,039±0,003
Гексаналь	0,001±0,0001	0,025±0,002	0,087±0,006	0,001±0,0001	0,030±0,002	0,096±0,007	0,001±0,0001	0,032±0,002	0,112±0,008	0,001±0,0001	0,028±0,002	0,083±0,006
Пропаналь	0,001±0,0001	0,054±0,004	0,161±0,011	0,001±0,0001	0,048±0,003	0,142±0,009	0,001±0,0001	0,058±0,004	0,158±0,011	0,001±0,0001	0,051±0,004	0,144±0,010
Нонаналь	-	0,006±0,0001	0,011±0,001	-	0,002±0,0001	0,009±0,001	-	0,001±0,0001	0,005±0,0003	-	0,007±0,001	0,012±0,001
2-пентанол	0,008±0,001	0,031±0,002	0,062±0,004	0,003±0,0002	0,024±0,002	0,050±0,004	0,009±0,001	0,017±0,001	0,038±0,003	-	0,012±0,001	0,027±0,002
2-пентилфуран	0,012±0,001	0,018±0,001	0,024±0,002	0,008±0,001	0,014±0,001	0,019±0,001	0,011±0,001	0,014±0,001	0,021±0,002	0,007±0,001	0,012±0,001	0,020±0,001
Бутановая кислота	-	0,003±0,0001	0,012±0,001	-	0,001±0,0001	0,007±0,001	-	0,002±0,0001	0,011±0,001	-	-	0,006±0,0004
Транс-гексен-4-ол	-	0,013±0,001	0,027±0,002	-	0,015±0,001	0,022±0,002	-	0,009±0,001	0,017±0,001	-	0,011±0,001	0,024±0,002

Источник: составлено автором

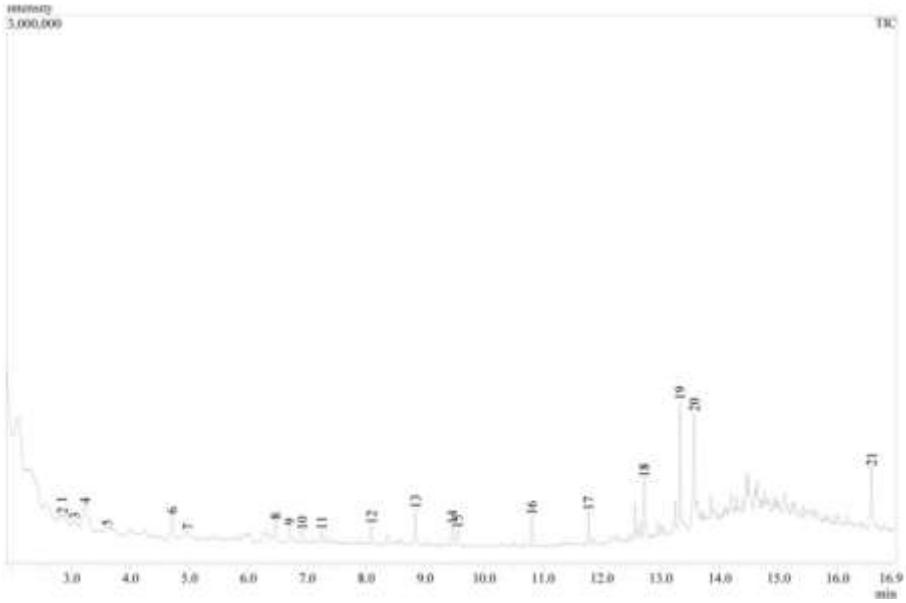


Рисунок 3.19 – Типичная хроматограмма разделения летучих соединений ядер грецкого ореха

Источник: составлено автором

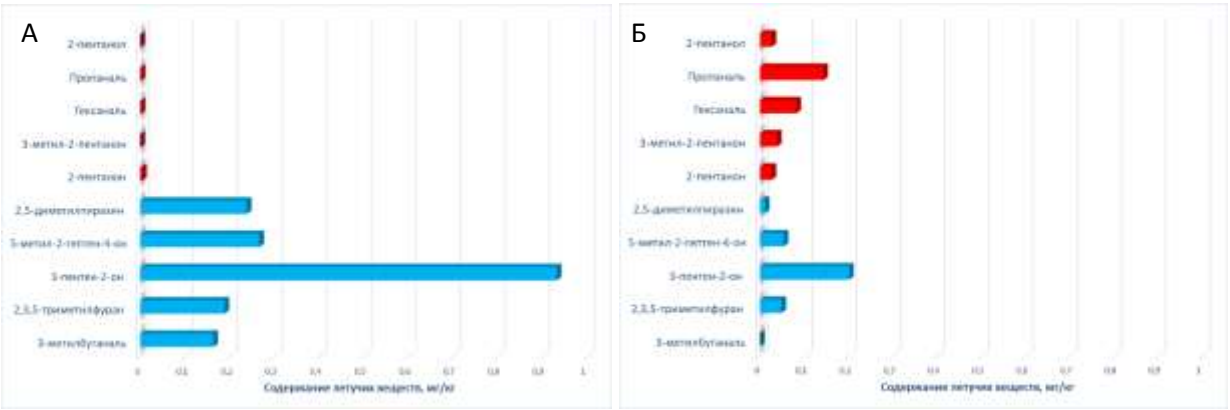


Рисунок 3.20 – Содержание основных летучих соединений в образце грецкого ореха на начало хранения (а) и на 4 месяц (б) ускоренного хранения при 35 °С

Источник: составлено автором

Общее содержание идентифицированных летучих соединений, формирующих типичный запах орехов значительно выше по сравнению с содержанием веществ, формирующих запах окисленного жира в самом начале хранения (Рисунок 3.21). Но в процессе ускоренного хранения наблюдается значительное уменьшение первых и рост вторых. К концу периода ускоренного хранения наблюдается превышение содержания веществ, обусловливающих прогорклый запах по сравнению с веществами, обусловливающими приятный запах орехоплодных.

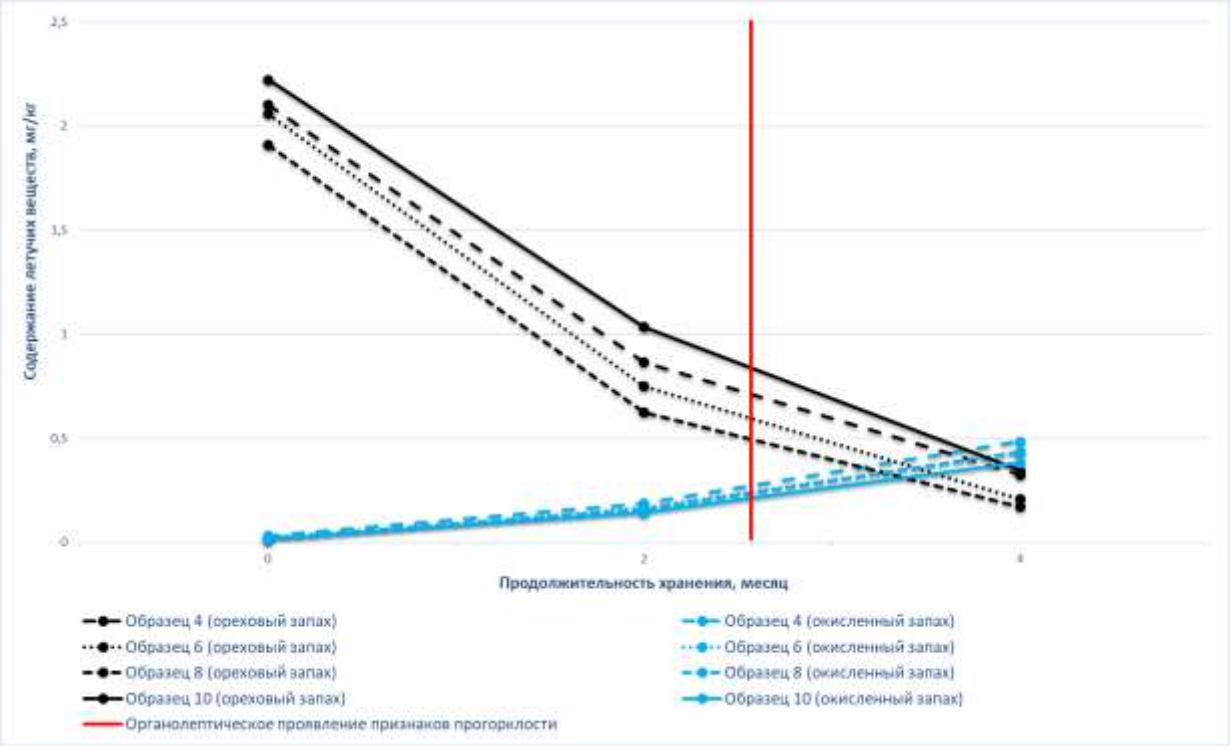


Рисунок 3.21 – Динамика концентрации летучих соединений в процессе ускоренного хранения грецких орехов при 35 °С

Источник: составлено автором

Одними из основных летучих продуктов окисления являются: пропаналь – продукт окисления α-линоленовой кислоты, гексаналь – продукт окисления линолевой кислоты, нонаналь – продукт окисления олеиновой кислоты [150]. Наибольшее содержание при окислении полиненасыщенных жирных кислот приходится на пропаналь и гексаналь. На основании изучения динамики накопления летучих соединений и установления взаимосвязи с органолептическими показателями было сделано заключение, что содержание пропаналя и гексаналя является важным индикатором окислительной порчи жиров грецкого ореха. Аналогичные данные были получены и другими исследователями [223]. С целью более подробного изучения динамики содержания летучих веществ в процессе хранения грецких орехов нами было исследовано содержание пропаналя и гексаналя в изучаемых образцах в процессе ускоренного хранения при различных температурах. Результаты определения содержания пропаналя и гексаналя в образцах ядер грецких орехов представлены в Приложении А в таблице А.6. Определение содержания пропаналя и гексаналя проводилось в 4 лучших по результатам органолептических испытаний образцах ядер грецких орехов (образцы № 4, 6, 8 и 10) в процессе хранения. Согласно полученным данным, содержание пропаналя и гексаналя в момент закладки

орехов на хранение составляло 0,2-0,7 и 0,6-1,7 мкг/кг соответственно. В процессе хранения содержание вышеупомянутых альдегидов возрастало, что обусловлено развитием окислительных процессов. Средняя скорость роста содержания пропаналя и гексаналя в образцах ядер грецкого ореха в процессе хранения при температурах 20, 35, 45 и 55 °С составляла 0,38; 1,14; 3,25 и 4,40 (ммоль/л)/сутки и 0,23; 0,98; 3,86 и 4,78 (ммоль/л)/сутки соответственно.

Скорость роста содержания пропаналя в процессе ускоренного хранения при 35, 45 и 55 °С в 3,0, 8,6 и 11,6 раз соответственно превышала скорость роста содержания пропаналя в орехах, хранившихся при 20 °С. Скорость роста содержания гексаналя в образцах, подвергнутых ускоренному хранению, превышала скорость роста содержания гексаналя в образцах, хранившихся при 20 °С в 4,3, 16,8 и 20,8 раз соответственно. Результаты определения содержания пропаналя и гексаналя в исследуемых образцах ядер грецкого ореха, хранившихся при повышенных температурах представлены в виде графиков поверхности (Рисунок 3.22) с использованием усредненных результатов определения содержания пропаналя и гексаналя для всех исследуемых образцах.

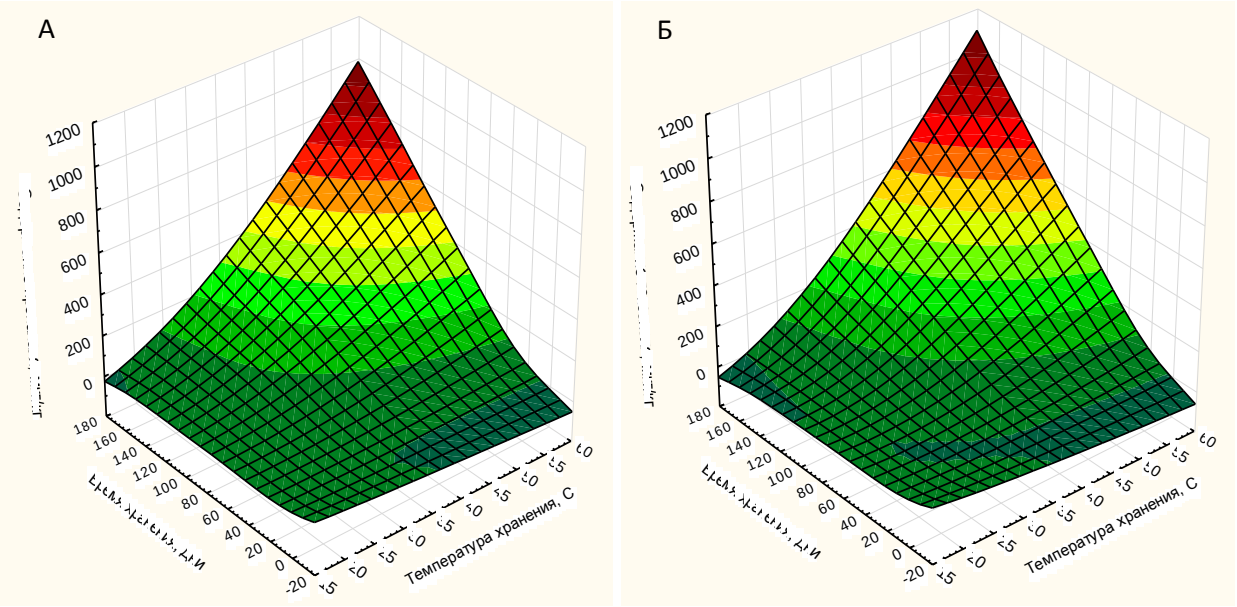


Рисунок 3.22 – Зависимость динамики содержания пропаналя (а) и гексаналя (б) от температуры и продолжительности хранения

Источник: составлено автором

3.6 Комплекс критических показателей потенциальной лежкоспособности ядер грецких орехов при хранении

На основании обобщения результатов исследования динамики физико-химических критериев потенциальной лежкоспособности ядер грецкого ореха при хранении были установлены зависимости значений каждого исследованного показателя от времени хранения при 20 °С. Данный анализ позволил получить уравнения, отражающие зависимость (Таблица 3.7) и установить, что зависимости характеризуются высоким коэффициентом корреляции. Следовательно, полученные данные, характеризующие изменение исследуемых физико-химических показателей окислительной порчи во времени имеют высокую степень достоверности.

Таблица 3.7 – Зависимость между временем хранения образцов ядер грецких орехов и средними значениями физико-химических показателей окислительной порчи ($p<0,05$)

	Уравнение зависимости	**Коэффициент корреляции**
Зависимость между временем хранения и содержанием пропаналя	y = -5,2804 + 0,4049x	0,9956
Зависимость между временем хранения и содержание гексаналя	y = -4,3033 + 0,24x	0,9766
Зависимость между временем хранения и перекисным числом	y = 0,052 + 0,0543x	0,9830
Зависимость между временем хранения и тиобарбитуровым числом	y = 0,0626 + 0,0049x	0,9995
Зависимость между временем хранения и содержанием конъюгированных диенов	y = 1,3565 + 0,0089x	0,9966

Источник: составлено автором

На основании результатов комплексного анализа динамики физико-химических показателей, характеризующих процессы окислительной порчи, протекающих в ядрах грецких орехов при хранении, были установлены критические значения показателей (при которых органолептические показатели становятся неприемлемыми), которые могут быть использованы в качестве индикаторов окислительной стабильности орехов при установлении сроков годности обезличенных партий. В таблице 3.8 приведены критические значения физико-химических показателей окислительной порчи ядер 10 исследованных образцов, хранившихся при 20 °С, при которых проявляются признаки прогорклости при органолептической оценке. Из приведенных данных видно, что критические значения для 5 образца значительно отличаются от критических значений других образцов. По органолептическим характеристикам в 5 образце изначально присутствовали признаки прогорклости, т.е. в данном образце в момент начала проведения испытаний окислительные процессы уже перешли в стадию интенсивного развития. Для дальнейших исследований

было решено не принимать в расчет данные, полученные для 5 образца.

Таблица 3.8 – Критические значения физико-химических показателей окислительной порчи при наступлении неприемлемых органолептических характеристик

	Образец 1	**Образец 2**	**Образец 3**	**Образец 4**	**Образец 5**	**Образец 6**	**Образец 7**	**Образец 8**	**Образец 9**	**Образец 10**
Содержание пропаналя, мкг/кг орехов	-	-	-	90,5	-	85,0	-	90,5	-	89,6
Содержание гексаналя, мкг/кг орехов	-	-	-	45,9	-	47,6	-	52,4	-	47,2
Перекисное число, ммоль ½ О/кг масла	6,49	6,47	6,43	6,40	2,1	6,44	6,43	6,44	6,49	6,41
Тиобарбитуровое число, мг малонового диальдегида/ кг масла	0,68	0,74	0,71	0,70	0,15	0,75	0,70	0,76	0,76	0,67
Содержание конъюгированных диенов, ммоль/л	2,31	2,33	2,33	2,35	2,35	2,32	2,39	2,35	2,34	2,40

Примечание: содержание пропаналя и гексаналя определялось только в образцах № 4, 6, 8 и 10

Источник: составлено автором

С учетом вышеизложенного, были определены диапазоны критических значений физико-химических показателей окислительной порчи при наступлении неприемлемых органолептических характеристик по каждому показателю. Данные представлены в таблице 3.9.

Проведенные исследования позволили установить реальные сроки годности исследуемых образцов орехов и сопоставить их со сроками годности, установленными производителями. Сравнительные данные представлены в таблице 3.10. Как видно из таблицы 3.10, лишь для 2 из 10 исследуемых образцов грецких орехов производитель установил сроки годности, отвечающие реальному уровню лежкоспособности орехов. Кроме того, производителями для исследуемых образцов орехов предположительно одного года урожая установлены разные несопоставимые сроки годности. Рекомендуется производителям указывать на маркировке ядер грецких орехов год урожая продукции.

Таблица 3.9 – Критические значения физико-химических показателей окислительной порчи при наступлении неприемлемых органолептических характеристик

Показатель	**Диапазон значений**
Содержание пропаналя, мкг/кг орехов	85,0-90,5
Содержание гексаналя, мкг/кг орехов	45,9-52,4
Перекисное число, ммоль½О/кг масла	6,4-6,5
Тиобарбитуровое число, мг малонового диальдегида/кг масла	0,7-0,8
Содержание конъюгированных диенов, ммоль/л	2,3-2,4

Источник: составлено автором

Таблица 3.10 – Сравнительная характеристика сроков годности ядер грецких орехов, установленных производителями и установленных экспериментальным путем

Срок годности, установленный, сутки	**Номер образца исследуемых ядер грецких орехов**									
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
экспериментально	77	112	91	**196**	-	**196**	98	216	98	196
производителем	180	365	180	**180**	365	**180**	180	270	180	360

Источник: составлено автором

Как видно из полученных данных, средняя продолжительность хранения (т.е. этап, при котором органолептические показатели являются приемлемыми) исследуемых образцов ядер грецких орехов, хранившихся при температуре 20 °С составляет 128 суток (4,3 месяца), в то время как установленный производителями срок годности для данных образцов варьировался в интервале от 6 до 12 месяцев. Следовательно, реализуемые в розничных торговых предприятиях ядра грецких орехов, не однородны по качеству и существенно различаются по исходному уровню лежкоспособности. Для характеристики степени дифференциации орехов, реализуемых в розничной торговле, по потенциальному уровню лежкоспособности нами был проведен кластерный анализ исследуемых образцов ядер грецких орехов по методу k-средних по результатам определения органолептических и физико-химических показателей окислительной порчи в процессе хранения при 20 °С. Оптимальное количество кластеров было подобрано логическим путем, исходя из древовидного кластера исследуемых образцов (Рисунок 3.23) и оказалось равным 4.

В таблице 3.11 представлена группировка образцов, хранившихся в рекомендуемых условиях, на 4 кластера по органолептическим характеристикам, значениям перекисного,

тиобарбитурового чисел и содержанию конъюгированных диенов. Как видно из таблицы 3.11, 5 образец по всем параметрам выделяется в отдельный кластер, что подтверждает правомерность решения об исключении данного образца из дальнейшего анализа. На основании результатов кластерного анализа видно, что все исследуемые образцы ядер грецких орехов разных производителей могут быть разделены на 4 группы, имеющие различные исходные уровни окислительной стабильности, и для каждой группы должны устанавливаться свои сроки годности.

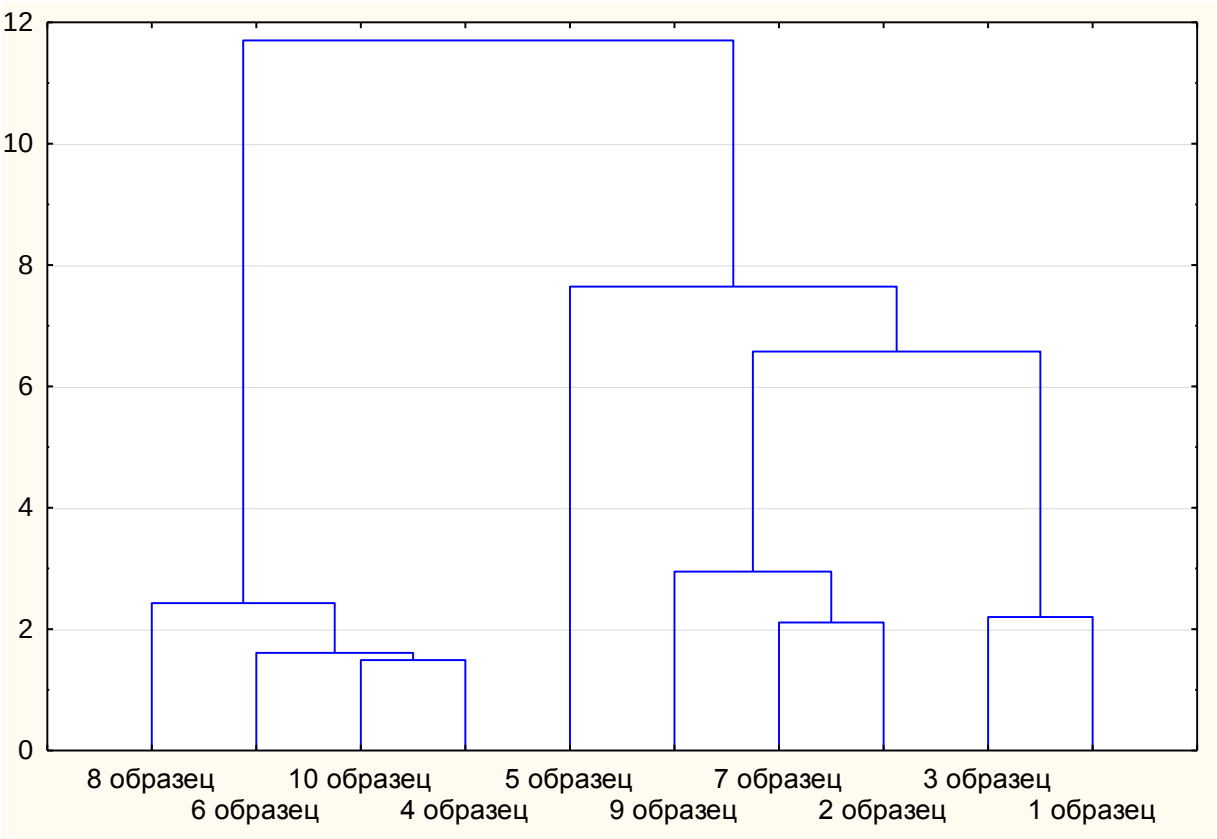


Рисунок 3.23 – Древовидная кластеризация исследуемых образцов ядер грецкого ореха по значениям перекисного числа в процессе хранения при 20 °С

Источник: составлено автором

По совокупности проведенных исследований представляется возможным установить ориентировочные сроки годности ядер грецких орехов для каждого кластера в зависимости от исходных значений физико-химических показателей окислительной порчи. Полученные данные представлены в таблице 3.12. 1, 2, 3, 7 и 9 образцы было решено объединить в один кластер ввиду близости их исходных органолептических и физико-химических показателей.

Таблица 3.11 – Результаты кластерного анализа исследуемых образцов грецких орехов без скорлупы по методу k-средних

	1 кластер	**2 кластер**	**3 кластер**	**4 кластер**
Органолептические характеристики	1 и 7 образцы	5 образец	3 и 9 образцы	2, 4, 6, 8 и 10 образцы
Значение перекисного числа	5 образец	2, 7 и 9 образцы	1 и 3 образцы	4, 6, 8 и 10 образцы
Значение тиобарбитурового числа	5 образец	1, 7 и 9 образцы	2 и 3 образцы	4, 6, 8 и 10 образцы
Содержание конъюгированных диенов	1 и 9 образцы	2, 3 и 7 образцы	5 образец	4, 6, 8 и 10 образцы

Источник: составлено автором

На основании полученных результатов можно сделать вывод, что для большинства исследуемых образцов (**8 из 10 образцов**) установленные производителем сроки годности **не соответствуют** реальным срокам годности ядер грецких орехов, что подтверждает необходимость разработки методики определения прогнозируемых сроков годности обезличенных партий ядер грецких орехов на основании установленных критериев потенциальной лежкоспособности и обусловливает целесообразность использования современных технологий, направленных на увеличение сроков годности орехоплодных. Данная методика представлена в главе 5.

Таблица 3.12 – Ориентировочные сроки годности ядер грецких орехов в зависимости от исходных значений физико-химических показателей окислительной порчи с классификацией по кластерам

Кластер	**Исходные значения перекисного числа, ммоль ½ О/кг масла**	**Исходные значения тиобарбитурового числа, мг малонового диальдегида/кг масла**	**Исходное содержание конъюгиро-ванных диенов, ммоль/л**	**Ориентиро-вочные сроки годности грецких орехов, дни**
1	Менее 1,0	Менее 0,10	Менее 1,5	**Более 120**
2	От 1,0 до 1,5	От 0,10 до 0,15	От 1,5 до 1,9	**От 80 до 120**
3	Более 1,5	Более 0,15	Более 1,9	**Менее 80**

Источник: составлено автором

3.7 Изучение корреляционной зависимости органолептических и физико-химических показателей окислительной порчи с целью разработки методики прогнозирования лежкоспособности ядер грецких орехов при хранении

С целью определения взаимосвязи между полученными значениями критериев лежкоспособности и с целью обоснования выбора температурного режима ускоренного хранения ядер грецкого ореха была рассчитана корреляционная зависимость между физико-химическими показателями окислительной порчи и органолептическими показателями качества исследуемых образцов ядер грецкого ореха различных производителей в процессе хранения. Рассчитана парная корреляция между органолептическими и физико-химическими показателями окислительной порчи при хранении при температуре 20 °С и в условиях ускоренного хранения при 35, 45 и 55 °С. В качестве критериев окислительной стабильности использовались следующие показатели: перекисное, тиобарбитуровое числа, содержание конъюгированных диенов, содержание пропаналя и гексаналя. Корреляционная матрица зависимости органолептических и физико-химических показателей качества ядер грецких орехов при различных температурах хранения представлена в таблице А.7 в приложении А.

Была установлена высокая положительная корреляция между органолептическими показателями и физико-химическими показателями окислительной порчи грецкого ореха, хранившегося при 20 °С и при 35 °С. Коэффициенты корреляции для всех исследуемых показателей орехов, хранившихся при 20 °С и при 35 °С составляют более 0,6, что говорит о наличии тесной взаимосвязи между их значениями. При этом, практически не наблюдается корреляции (либо наблюдается очень слабая корреляция) между исследуемыми показателями при хранении орехов при 45 и 55 °С, за исключением таких показателей, как содержание пропаналя и гексаналя. Это говорит о том, что хранение в режимах ускоренного хранения при 45 и 55 °С провоцирует слишком стремительное развитие окислительных реакций, динамика которых существенно отличается от процессов, протекающих в производственных условиях хранения. В связи с этим можно сделать вывод, что наиболее оптимальным режимом ускоренного хранения, позволяющим адекватно прогнозировать развитие окислительных реакций, является хранение при 35 °С.

Значения коэффициентов парной корреляции для 10 образцов ядер грецких орехов, хранившихся при 20 °С и в условиях ускоренного хранения при 35 °С, представлены в таблице А.8 в Приложении А. Проведенный анализ коэффициентов парной корреляции образцов, хранившихся при 20 °С, показывает, что высокая степень взаимосвязи

присутствует между органолептическими характеристиками образцов и всеми физико-химическими показателями окислительной порчи (перекисным, тиобарбитуровым числами, содержанием конъюгированных диенов, пропаналя и гексаналя). Но при этом наибольшая взаимосвязь наблюдается между органолептическими показателями и содержанием конъюгированных диенов при хранении при 20 °С.

Анализ корреляционной зависимости образцов, хранившихся при 35 °С также показал наличие сильной взаимосвязи между органолептическими показателями качества и указанными физико-химическими показателями окислительной порчи. Наивысшие коэффициенты парной корреляции наблюдались между органолептическими характеристиками и содержанием пропаналя и гексаналя, что объясняется более интенсивным накоплением этих веществ при ускоренном хранении. На основании полученных результатов можно рекомендовать использовать в качестве критериев потенциальной лежкоспособности ядер грецких орехов показатели окислительной стабильности – перекисное число, тиобарбитуровое число, содержание конъюгированных диенов, содержание пропаналя и содержание гексаналя, которые могут быть использованы для прогнозирования сроков годности обезличенных партий ядер грецкого ореха при реализации в розничной торговой сети.

На основании анализа результатов уровня корреляционной зависимости между органолептическими и физико-химическими показателями окислительной порчи ядер грецких орехов при хранении при 20, 35, 45 и 55 °С было установлено, что наиболее оптимальным режимом ускоренного хранения, позволяющим прогнозировать развитие окислительных реакций, является хранение при 35 °С.

Выводы по главе 3

На основании проведенных исследований было установлено, что температура хранения является важнейшим фактором, влияющим на активность ферментативных и неферментативных окислительных процессов, протекающих в орехах при хранении. Снижение температуры хранения приводит к значительному уменьшению скорости диссимиляции сложных органических соединений: белков, жиров, крахмала. Изучена динамика снижения массовой доли аскорбиновой кислоты и активности фермента полифенолоксидазы. Увеличение активности фермента полифенолоксидазы активизирует окисление полифенолов и образование флобафенов, это приводит к потемнению ядер орехов и приобретению неприятных вкусовых и ароматических ощущений, которые усиливаются накоплением продуктов окислительной порчи и гидролиза жиров.

Для разработки методики оценки потенциала лежкоспособности орехов была изучена динамика органолептических и физико-химических показателей 10 образцов ядер

грецких орехов различных производителей и 3 образцов грецких орехов в скорлупе при хранении при температуре, рекомендуемой для хранения фасованных орехов (20 °С) и в условиях ускоренного хранения при 35, 45 и 55 °С. Установлено, что орехи в скорлупе имеют значительно больший потенциал лежкоспособности по сравнению с очищенными орехами в аналогичных условиях хранения.

Изучена динамика жирнокислотного и аминокислотного состава грецких орехов, а также содержания токоферолов. Показано, что в процессе хранения происходит снижение как содержания жиров и белков, так и содержания токоферолов. При этом установлено, что снижение содержания γ-токоферолов в процессе хранения в 2 раза сопровождается появлением признаков окислительной порчи во вкусе и запахе. Проведена идентификация летучих соединений ядер грецких орехов. Установлена динамика содержания летучих соединений, формирующих типичный запах свежих грецких орехов и летучих соединений, появившихся в результате окислительных превращений жиров. При хранении наблюдалось накопление таких летучих соединений, как гексаналь, пропаналь и нонаналь, которое сопровождалось развитием неприятного жирного, салистого и окисленного запаха.

На основании полученных результатов были рекомендованы для использования в качестве критериев потенциальной лежкоспособности показатели окислительной порчи – перекисное число, тиобарбитуровое число, содержание конъюгированных диенов, содержание пропаналя и содержание гексаналя, которые могут быть использованы для прогнозирования сроков годности обезличенных партий грецкого ореха при реализации в розничной торговой сети. Установлены диапазоны критических значений физико-химических показателей окислительной порчи, при которых органолептические показатели становятся неприемлемыми для потребителя (появляются признаки прогорклости).

Изучена корреляционная зависимость между исследуемыми органолептическими и физико-химическими показателями, а также между различными режимами ускоренного хранения. В результате показана высокая степень взаимосвязи между значениями данных показателей и доказана правомерность осуществления ускоренного хранения при температуре 35 °С. В результате проведения исследований осуществлено сравнение реальных сроков годности исследуемых образцов грецких орехов и сроков годности, установленных производителем. Показано, что только у 2 из 10 образцов производитель установил сроки годности, соответствующие реальным срокам годности исследуемых образцов.

ГЛАВА 4 РАЗРАБОТКА СПОСОБОВ УВЕЛИЧЕНИЯ СРОКОВ ГОДНОСТИ ЯДЕР ГРЕЦКИХ ОРЕХОВ НА ЭТАПАХ ТОВАРОДВИЖЕНИЯ

Важными условиями обеспечения качества орехов на этапах продвижения от производителя к конечному потребителю является высокий уровень лежкоспособности, сформированной в процессе выращивания, и соблюдение условий и режимов хранения на этапах товародвижения. Согласно стандарту Кодекс Алиментариус CAC/RCP 6-1972 «Рекомендованные международные гигиенические нормы и правила для орехов», оптимальными условиями хранения орехов считаются температура примерно 1 °С и относительная влажность воздуха от 60 до 70 %. В странах с умеренным климатом орехи в скорлупе и ядра орехов могут храниться в сухих складах при температуре, равной температуре окружающей среды.

В российских стандартах требования к температурно-влажностному режиму не обговариваются, срок годности и условия хранения устанавливает изготовитель. Как правило, отечественные производители при маркировке указывают следующие условия хранения: хранить при температуре не выше 25 °С и ОВВ не более 70 %.

Следовательно, при транспортировании и хранении ядер грецкого ореха температура может изменяться в широких пределах и стабильность температурных режимов не гарантируется ни производителем, ни логистической системой, ни продавцом. В сложившейся ситуации возможно создание условий, при которых начинают активизироваться процессы радикального перекисного окисления липидов в ядрах орехов, в результате которых сроки хранения готовой расфасованной продукции снижаются и не соответствуют срокам, указанным производителем на упаковке.

В связи с этим во всем мире ведется поиск новых ресурсосберегающих технологий с минимальными энерго- и материальными затратами, обеспечивающих стабилизацию окислительных процессов в жиросодержащих пищевых продуктах. Наиболее перспективными способами регуляции скорости окислительных процессов считается использование натуральных и идентичных натуральным антиоксидантов. Вторым важным активно развивающимся направлением в развитии ресурсосберегающих технологий является использование физических факторов воздействия, в т. ч. электромагнитных полей (ЭМП) разной интенсивности.

4.1 Влияние обработки ядер грецких орехов в электромагнитном поле плазменного электромагнитного генератора на их лежкоспособность

Физические способы обработки являются перспективными ресурсосберегающими и экологически чистыми технологиями. В РЭУ им. Г.В. Плеханова разработан дуговой электромагнитный генератор (ДЭМГ), предназначенный для обработки плодоовощной продукции в поле самогенерирующих разрядов (СГ), создающий сильные пульсирующие токи смещения величиной от 10^{-2} до 10^{6} А/м^2, сформированные в виде прямоугольных импульсных пакетов с частотой повторения 0,1-310^{3} Гц, при длительности одиночного импульса 10^{-8}-510^{-4} с и частоте повторения их в пакете от 0,8 до 30 МГц [21, 62, 143].

Самогенерирующий разряд представляет собой типичную плазменную систему, в которой разделение электрических зарядов происходит под действием сил, возникающих за счет взаимодействия токов с создаваемыми ими магнитными полями. При включении самогенерирующего разряда в колебательный контур или резонатор в нем возникают и поддерживаются мощные незатухающие электромагнитные колебания. При проведении испытаний генератор СГ-разряда создавал квазипрямоугольные униполярные импульсы с широким диапазоном амплитуды на выходе и длительностью порядка 1 мкс.

Перед нами стояла задача изучить эффективность резонансного эффекта, который создает электромагнитное поле плазменного СГ-разряда для воздействия на ЭМП макромолекул ядер орехов с целью увеличения их сроков годности. Параметры электромагнитного излучения генератора регулировались с помощью коммутационного и высоковольтного блоков, элементов выходного контура и режима работы лампы. Основная часть спектра высокочастотных гармоник полей СГ-разряда лежала в области 0,5-15 мГц. Средняя мощность, циркулирующая в выходном контуре, изменялась в пределах 1-3 Вт при пиковой мощности в одиночном импульсе около 1-3 кВт. Время обработки измерялось с помощью секундомера.

Исследования по обработке исследуемых образцов электромагнитным полем самогенерирующего разряда проводились с экспозицией в 7 секунд, 70 секунд и 2 минуты 12 секунд. Время экспозиции являлось фактором, определяющим уровень интенсивности обработки. Значения времени обработки определялись опытным путем на основе результатов многочисленных предварительных исследований на широком диапазоне растительных объектов.

Объекты располагались между двумя квадратными алюминиевыми пластинами, образующими конденсатор, имитирующий электрическую волну СГ-генератора. Зазор

между пластинами регулировался специальными текстолитовыми прокладками. Орехи раскладывалась на пластины так, чтобы сохранялась равномерность электромагнитного поля. Условия работы генератора во всех случаях были стабильны.

Для исследований был выбран образец ядер орехов, имеющий наилучшие органолептические характеристики и физико-химические показатели окислительной порчи – образец № 10. Обработку ядер массой 500 г проводили в поле СГ-разряда в 3-х кратной повторности при трех экспозициях. В качестве контроля использовался этот же образец грецкого ореха, не подвергнутый обработке. Ядра орехов после обработки закладывали в полимерные закрытые контейнеры и помещали на ускоренное хранение при температуре 35 °С. Хранение осуществляли до появления критических признаков – ярко выраженных признаков прогорклости. Регулярно с интервалом в 7 суток отбирали пробы для определения органолептических и физико-химических показателей окислительной порчи.

Органолептические показатели качества выражали в виде комплексного органолептического показателя качества с учетом единичных показателей: вкус, запах и внешний вид, с учетом коэффициентов весомости, установленных ранее (Рисунок 4.1).

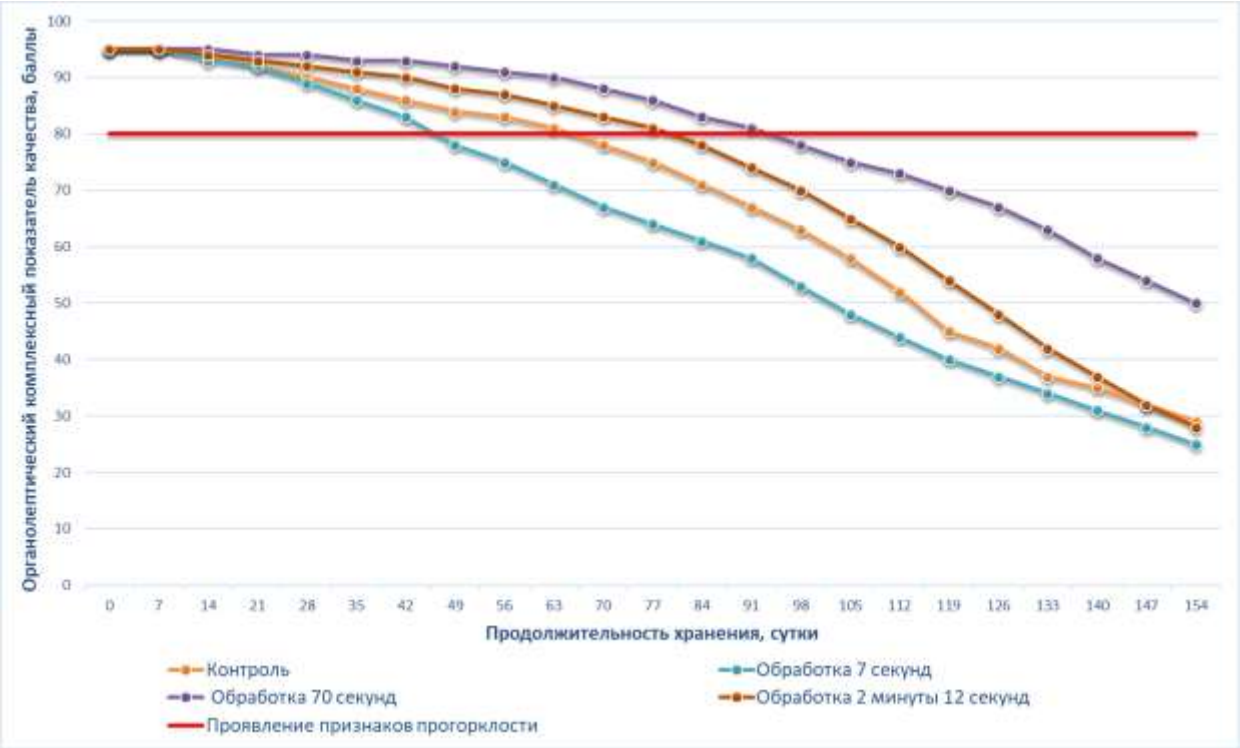


Рисунок 4.1 – Динамика комплексного органолептического показателя качества образцов грецкого ореха, обработанных электромагнитными полями в процессе хранения при 35 °С

Источник: составлено автором

Наилучшие органолептические характеристики по сравнению с контрольным образцом в процессе хранения имел образец, обработанный электромагнитным полем самогенерирующегося разряда в течение 70 секунд. Обработка с экспозицией в 2 минуты 12 секунд оказалась менее эффективной, а при обработке в течение 7 секунд происходило незначительное ухудшение органолептических характеристик образцов по сравнению с контролем. Обработка электромагнитным полем в течение 70 секунд позволила увеличить срок годности исследуемых образцов по сравнению с контролем практически на 30 суток при хранении при 35 °С, что подтверждает эффективность применения такого способа физической обработки. Результаты определения динамики перекисного числа и содержания конъюгированных диенов в ядрах грецких орехов, подвергнутых физической обработке электромагнитными полями, при ускоренном хранении образцов при 35 °С представлены на рисунке 4.2 и 4.3.

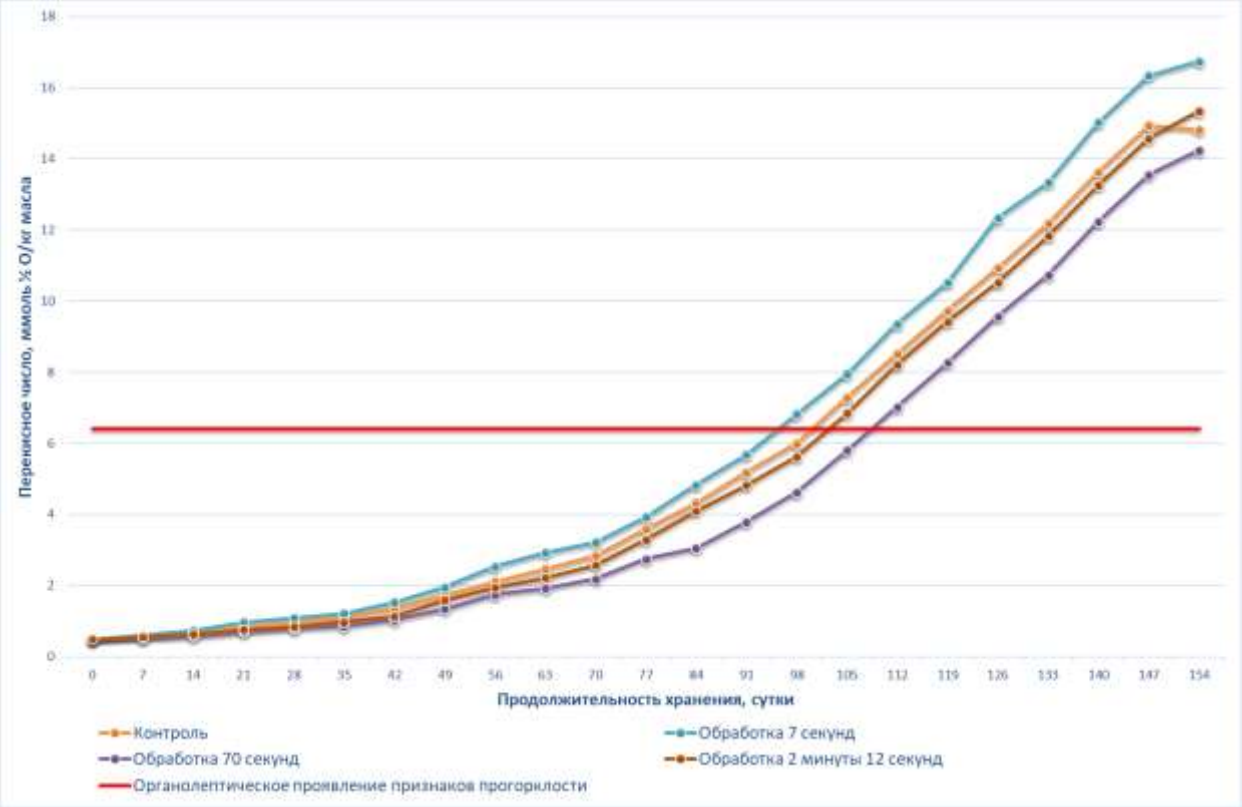


Рисунок 4.2 – Влияние обработки ядер грецких орехов в поле СГ-разряда на динамику перекисного числа в процессе ускоренного хранения при 35 °С

Источник: составлено автором

Как видно из полученных данных, обработка электромагнитными полями в течение 70 секунд имела существенный эффект замедления скорости роста перекисного числа и

содержания конъюгированных диенов, обработка в течение 2 минут 12 секунд была менее эффективной, но способствовала замедлению окислительных реакций. Обработка электромагнитным полем самогенерирующегося разряда в течение 7 секунд активизировала окислительные процессы.

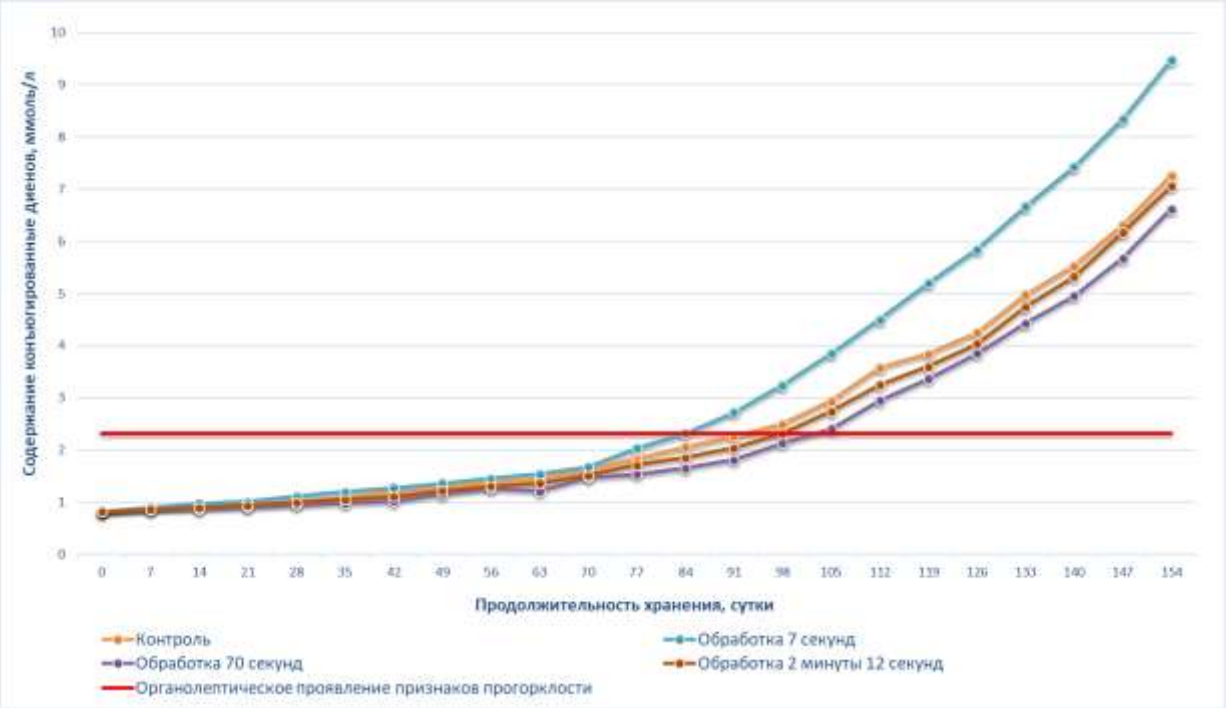


Рисунок 4.3 – Влияние обработки ядер грецких орехов в поле СГ-разряда на динамику содержания конъюгированных диенов в процессе ускоренного хранения при 35 °С

Источник: составлено автором

Как видно из полученных данных, скорость роста значений физико-химических показателей окислительной порчи у образцов, обработанных в течение 70 секунд и 2 минут 12 секунд, меньше скорости роста показателей окислительной физико-химической порчи контрольного (необработанного) образца. Полученные данные позволяют сделать вывод об эффективности применения обработки орехов в поле СГ-разряда с экспозицией в 70 секунд.

Вероятно, полученный эффект снижения скорости окисления липидов при обработке ЭМП СГ-разряда можно объяснить наличием резонансного характера поглощения биообъектом данного вида излучения, по мнению авторов данного прибора, вероятность совпадения частот ЭМП внешнего воздействия и собственных частот биообъекта очень велика. Кроме того, специфической особенностью ЭМП генераторов СГ-разряда является их высокая проникающая способность и распространение на большие расстояния. Доказано, что электрическое поле и лазерное облучение влияют на активность

окислительно-восстановительных ферментов. Важная роль в регуляции окислительных процессов в растительных объектах отводится ферменту полифенолоксидазе (ПФО), одной из функций которой является при активизации в стрессовых условиях создание химического барьера, препятствующего распространению активных форм кислорода в клетке. Для проверки данного предположения проводилось изучение активности фермента ПФО при обработке ядер грецкого ореха в исследуемых режимах. Было установлено, что обработка в ЭМП СГ-разряда при оптимальном режиме в течение 70 секунд приводила к увеличению активности фермента по сравнению с контрольным образцом. Активность ПФО до обработки ядер орехов составила 7,8 мкмоль*г/мин, после 14 суток хранения при 35 °С активность фермента составила 15,1 мкмоль*г/мин в образце, обработанном в течение 70 секунд, в то время как в контроле это значение составило 8,6 мкмоль*г/мин.

Следовательно, обработка при оптимальных параметрах приводит к активации одного из окислительно-восстановительных ферментов – полифенолоксидазы, которая участвует в образовании химических барьеров, препятствующих дальнейшему распространению реакций окисления, связанных с образованием активных форм кислорода. В результате такого сложного комплекса ответных реакций на электрофизическую обработку происходило изменение активности метаболических процессов, направленность которых можно регулировать изменением параметров ЭМП.

4.2 Сравнительная эффективность действия промышленных препаратов натуральных антиоксидантов разной химической природы на повышение химической стабильности липидов ядер грецких орехов при хранении

Применение антиоксидантов является одним из самых перспективных направлений в зарубежной и отечественной технологии хранения жиросодержащих пищевых продуктов с нестабильным липидным комплексом. Широкое промышленное распространение получили синтетические антиоксиданты фенольной природы (бутилгидроксианизол (БОА, Е 320), бутилгидрокситолуол (БОТ, Е 321), трет-бутилгидрохинон) и натуральные или идентичные натуральным антиоксиданты (токоферолы, аскорбиновая кислота, эфирные масла, сезамол и др.). В настоящее время прослеживается тенденция замены в пищевой промышленности синтетических антиоксидантов на натуральные или идентичные по химическому строению натуральным, так как безопасность синтетических антиоксидантов подвергается сомнению, а в некоторых странах они и вовсе запрещены.

Широкое распространение в пищевых технологиях получили коммерческие препараты на основе токоферолов и антиоксидантов фенольной природы, относящихся к флавоноидам и фенольным дитерпенам (например, карнозиновая кислота). В коммерческой практике также используется эффект усиления действия определенной группы антиоксидантов за счет введения синергистов, действие которых усиливает основной эффект. Например, введение аскорбиновой или лимонной кислот, которые взаимодействуют с ионами металлов переменной валентности, которые в свою очередь являются активаторами перекисного окисления липидов. Важным преимуществом антиоксидантов является то, что они воздействуют на окислительные процессы при низких концентрациях от 0,001 до 0,1 % и легко встраиваются в технологический процесс производства пищевых продуктов.

Для увеличения сроков годности ядер грецких орехов, реализуемых в розничной торговой сети, нами проводились сравнительные исследования эффективности использования антиоксидантов, наиболее широко применяемых в различных отраслях пищевой промышленности. Для обоснования выбора наиболее эффективного вида антиоксиданта с целью удлинения сроков промышленного хранения грецких орехов, проводились сравнительные исследования двух видов коммерческих препаратов антиоксидантов на основе токоферолов (препараты импортного производства, Германия) и двух видов антиоксидантов фенольной природы – флавоновых антиоксидантов – дигидрокверцетина (отечественного производства) и антиоксиданта на основе экстракта розмарина (Германия). Для исследования использовали те же образцы орехов, что и при обработке ЭМП СГ-разряда.

4.2.1 Сравнительная эффективность использования натуральных антиоксидантов линейки NovaSOL для снижения скорости перекисного окисления липидов в ядрах грецких орехов при хранении

Применение антиоксидантов в пищевой промышленности строго регламентировано. Антиоксиданты относятся к группе пищевых добавок и согласно ТР ТС 029/2012 «Требования безопасности пищевых добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств» в перечне пищевых добавок, разрешенных для применения при производстве пищевой продукции, они расположены в диапазоне позиций от Е300 до Е400. Но при производстве пищевых продуктов используется в основном ограниченный спектр

препаратов, среди которых важное место занимают токоферолы: концентрат смеси токоферолов (в состав добавки входит смесь альфа-, бета-, гамма- и дельта-токоферолов (Е306)), альфа- (Е307), гамма- (Е308) и дельтатокоферол (Е309), антиоксиданты на основе аскорбиновой кислоты – Е300-Е304 и др. Также в пищевой промышленности широко применяются и антиоксиданты синтетического происхождения – Е319-Е321 (трет-бутилгидрохинон, бутилгидроксианизол, бутилгидрокситолуол).

Важную роль в ассортименте коммерческих препаратов антиоксидантов занимают продукты компании AQUANOVA AG. Компания выпускает ингредиенты, представляющие собой структурированные вещества, основой которых является термо- и механически устойчивые нано-частицы (мицеллы продукта), устойчивые к действию желудочного сока и к микроорганизмам. Используемые нано-частицы имеют размер порядка 30 нм. В мицеллу помещается антиоксидант любой природы и может быть получен солюбилизат почти любого органического вещества (антиокислители, витамины, натуральные красители, эфирные масла и т.п.). Оболочка мицеллы является амфифильной, она создается из комплекса ПАВ (эмульгаторов и солюбилизаторов). Благодаря используемой технологии, производимые компанией продукты имеют повышенную биологическую активность и проникающую силу активных веществ, более высокую эффективность при меньших дозировках. Препараты выпускаются жидкой консистенции, их преимуществом является тот факт, что они растворимы в воде и жирах, поэтому могут вноситься в масла, жиры и водные суспензии.

Препараты содержат натуральные ингредиенты, используются в низкой концентрации в связи с применением нано-размеров структурных компонентов, не уступают по качеству существующим синтетическим антиоксидантам и обеспечивают экономически эффективное соотношение цены и качества готовых продуктов. Эффект действия антиоксидантов в мицеллярной форме усиливается за счет увеличения площади контакта с субстратом и равномерности распределения мицелл в продукте, этим достигается высокая эффективность предупреждения окислительных реакций на ранних этапах развития радикальной цепи. Антиоксидантов отечественного производства, имеющих нано размеры активных веществ в настоящее время не существует, поэтому именно антиоксиданты линейки NovaSOL считаются наиболее перспективными в пищевых технологиях. Для обработки ядер грецких орехов нами проводились сравнительные испытания трех наиболее перспективных антиоксидантов этой серии, предназначенных для широкого ассортимента пищевых продуктов:

1. AQUANOVA AG NovaSOL COF (состав: эмульгатор, аскорбиновая кислота, вода, среднецепочечные триглицериды, витамин Е – DL-α-токоферол; водо- и жирорастворим).

2. AQUANOVA AG NovaSOL E (состав: эмульгатор, витамин Е – α-токоферола ацетат, DL-α-токоферол; водо- и жирорастворим).

3. AQUANOVA AG NovaSOL Rosemary (состав: эмульгатор, экстракт розмарина, содержащий минимум 40 % карнозной кислоты; водо- и жирорастворим) – представляет собой солюбилизат 15 % экстракта розмарина. NovaSOL Rosemary имеет в 3-4 раза выше биодоступность и стабильность чем у аналогичных веществ в макроформе. Антиоксидантная эффективность определяется содержанием фенольных дитерпенов, в состав которых входит более 6 % карнозиновой кислоты. Молекула карнозиновой кислоты взаимодействует со свободными радикалами и переходит в карнозол, который в свою очередь взаимодействует с очередным радикалом и переходит в форму розманола, который встраивается также в каскадный непрерывный процесс с образованием галдозола.

Представленные препараты антиоксидантов имеют широкий спектр эффективного действия для стабилизации процессов химического окисления жиров в пищевых продуктах, однако эффективность их действия не изучалась в отношении окислительных процессов, протекающих в ядрах орехов при хранении. В этой связи перед нами стояла задача провести изучение сравнительной эффективности использования указанных препаратов антиоксидантов NovaSOL E, NovaSOL COF и NovaSOL Rosemary для стабилизации окислительных процессов при длительном хранении ядер грецких орехов и установить оптимальные концентрации антиоксидантов для обработки ядер грецких орехов.

Способность указанных препаратов растворяться в жире и в воде позволяет готовить водные растворы антиоксидантов для равномерного нанесения на поверхность ядер орехов с помощью пульверизатора, после чего орехи высушиваются потоком воздуха при постоянном перемешивании слоя. Эта операция хорошо вписывается в технологический процесс переработки орехов на ленте транспортера с последующим высушиванием воздухом с помощью вентилятора. Кроме того, в пищевой промышленности широко применяются промышленные устройства для нанесения пищевых покрытий. Возможным способом обработки также является погружение продукта в раствор антиоксидантов на несколько секунд, и дальнейшая сушка.

В соответствии с рекомендациями производителя, концентрация антиоксидантов, для приготовления рабочих растворов, предназначенных для обработки пищевых продуктов составляет от 0,01 до 0,1 %. Для установления наиболее эффективной концентрации препарата обработку ядер орехов проводили четырьмя дифференцированными концентрациями раствора препарата – 0,01; 0,02; 0,05 и 0,07 %. Для растворения антиоксидантов применялась дистиллированная вода. Для обработки 1 кг орехов использовалось 100 мл раствора. Опыты проводились в трехкратной повторности,

исследуемые образцы высушивались, помещались в контейнеры, закрывались крышками и помещались на ускоренное хранение при 35 °С. Параллельно на хранение закладывали контрольные образцы. Контрольные образцы орехов в целях получения достоверных результатов обрабатывали аналогичным образом дистиллированной водой без внесения антиоксидантов. Об эффективности влияния различных концентраций препаратов судили по динамике органолептических показателей «вкус» и «запах» и динамике перекисного числа масла орехов, как наиболее тождественно отражающих качество, в процессе ускоренного хранения орехов при 35 °С.

Для оценки органолептических показателей «вкус» и «запах» применялась 5-ти балльная шкала. Результаты исследования влияния концентрации антиоксиданта NovaSOL COF на динамику органолептических показателей представлены на рисунке 4.4. Анализируя динамику показателей вкуса и запаха было отмечено, что запах орехов изменялся более интенсивно при хранении, чем вкус. Обработка орехов антиоксидантами позволила более длительное время хранения получать приемлемые для потребителя органолептические характеристики. Увеличение концентрации антиоксиданта способствовало снижению скорости процессов окисления во всех исследованных вариантах. За критический предел оценки показателей вкуса и запаха были приняты значения ниже 3 баллов. Как видно из полученных данных, существенное увеличение продолжительности хранения по сравнению с контрольным вариантом, отмечено при увеличении концентрации препарата антиоксиданта до 0,05 и 0,07 %. Дальнейшее увеличение концентрации приводит к увеличению расхода антиоксиданта и, соответственно, затрат на его приобретение. Поэтому оптимальной концентрацией антиоксиданта, при которой возникает значительный эффект увеличения сроков годности можно считать 0,05 %.

Изменение значений перекисного числа масла ядер грецких орехов, обработанных антиоксидантом NovaSOL COF при различных концентрациях в процессе ускоренного хранения представлено на рисунке 4.5. Снижение скорости роста перекисного числа масла образцов орехов происходило пропорционально увеличению концентрации препарата NovaSOL, которым производили обработку. Как видно из рисунка 4.5, скорость образования перекисных соединений до регламентируемого допустимого уровня безопасности не более 10 ммоль½О/кг, установленного для растительных масел (согласно ТР ТС 024/2011 «Технический регламент на масложировую продукцию»), в контроле составляет 0,07 (ммоль½О/кг масла)/сутки, при концентрации антиоксиданта 0,01 % – 0,07 (ммоль½О/кг масла)/сутки, при концентрации антиоксиданта 0,02 % – 0,06 (ммоль½О/кг масла)/сутки; при концентрации антиоксиданта 0,05 % – 0,05 (ммоль½О/кг масла)/сутки и

при концентрации антиоксиданта 0,07 % – 0,03 (ммоль½O/кг масла)/сутки.

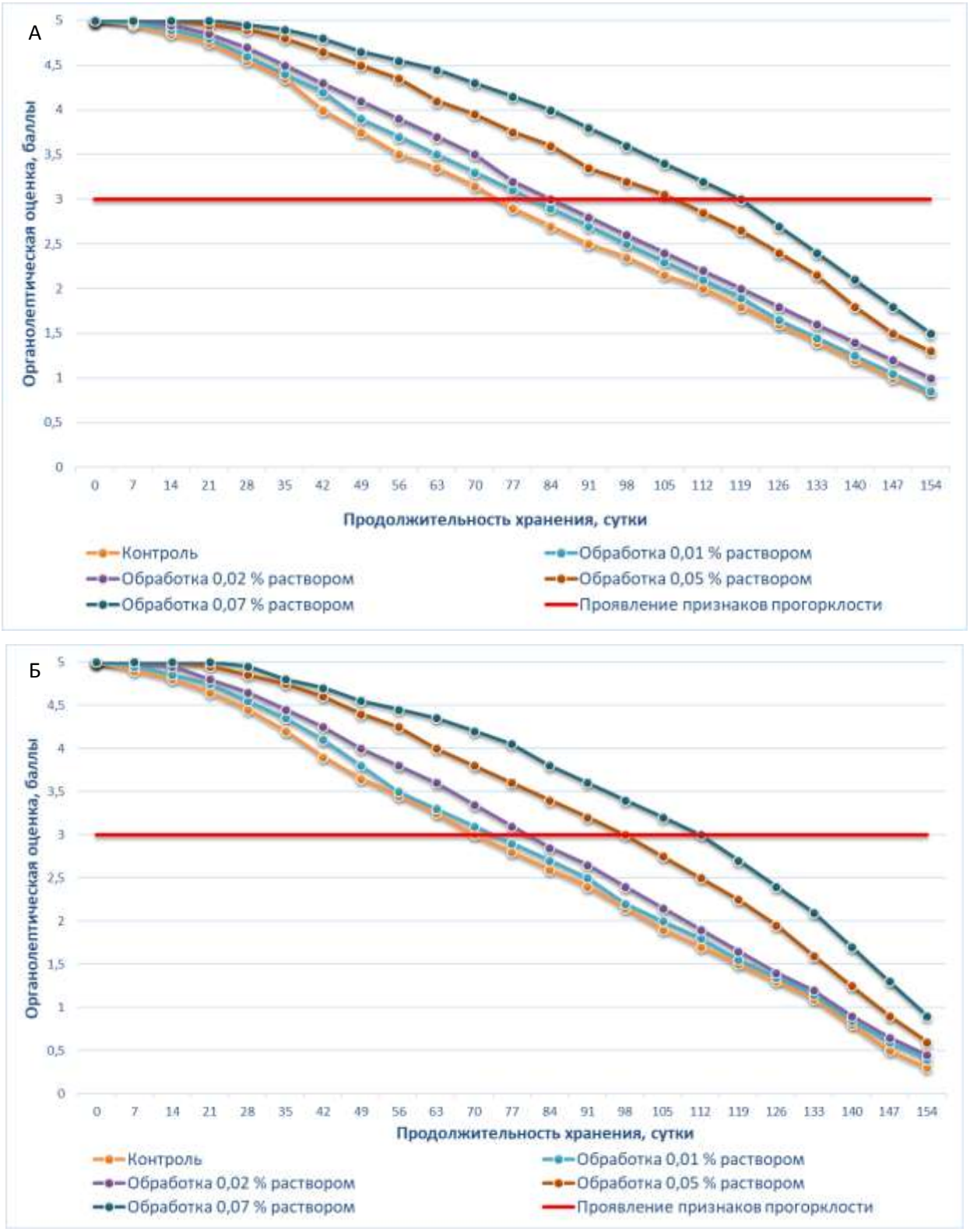


Рисунок 4.4 – Влияние концентрации антиоксиданта NovaSOL COF на изменение органолептических показателей «вкус» (а) и «запах» (б) обработанных антиоксидантом ядер грецких орехов в процессе хранения при 35 °С

Источник: составлено автором

Основываясь на результатах изменения органолептических показателей и значений перекисного числа масла ядер грецких орехов, обработанных антиоксидантом NovaSOL COF в различных концентрациях, было принято решение в дальнейших исследованиях использовать концентрацию препаратов, равную 0,05 %, которая обеспечивает наличие значительного эффекта торможения окислительных процессов в жирах грецких орехов.

Рисунок 4.5 – Влияние концентрации антиоксиданта NovaSOL COF на динамику перекисного числа масла ядер грецких орехов в процессе хранения при 35 °С

Источник: составлено автором

Для проведения сравнительных исследований проводили обработку ядер орехов тремя натуральными препаратами антиоксидантов NovaSOL COF, NovaSOL E и NovaSOL Rosemary в концентрации 0,05 %. Обработанные образцы закладывали на ускоренное хранение при температуре 35 °С. Критериями оценки эффективности обработки служили органолептические показатели и физико-химические показатели окислительной порчи: запах, перекисное число и содержание конъюгированных диенов. В качестве контроля использовался аналогичный образец ядер грецких орехов, обработанный таким же количеством дистиллированной воды.

По результатам органолептической оценки эффективности обработки грецких орехов препаратами антиоксидантов линейки NovaSOL в равных концентрациях

(Рисунок 4.6) было выявлено, что в контрольном необработанном образце первые признаки прогорклости появились через 70 суток хранения, в то время как в образцах, обработанных препаратами антиоксидантов они появились значительно позже: через 84, 98 и 112 суток хранения при обработке антиоксидантами NovaSOL E, NovaSOL COF и NovaSOL Rosemary соответственно. Можно сделать вывод, что по результатам органолептической оценки антиоксидант NovaSOL Rosemary является наиболее эффективным по сравнению с антиоксидантами NovaSOL E и NovaSOL COF. При этом сами антиоксиданты не оказывали влияния на органолептические характеристики орехов, и лишь только препарат NovaSOL Rosemary при концентрациях более 0,05 % придавал небольшой хвойный привкус грецким орехам. Использование данного антиоксиданта в больших концентрациях будет способствовать нежелательному изменению вкуса и запаха грецких орехов.

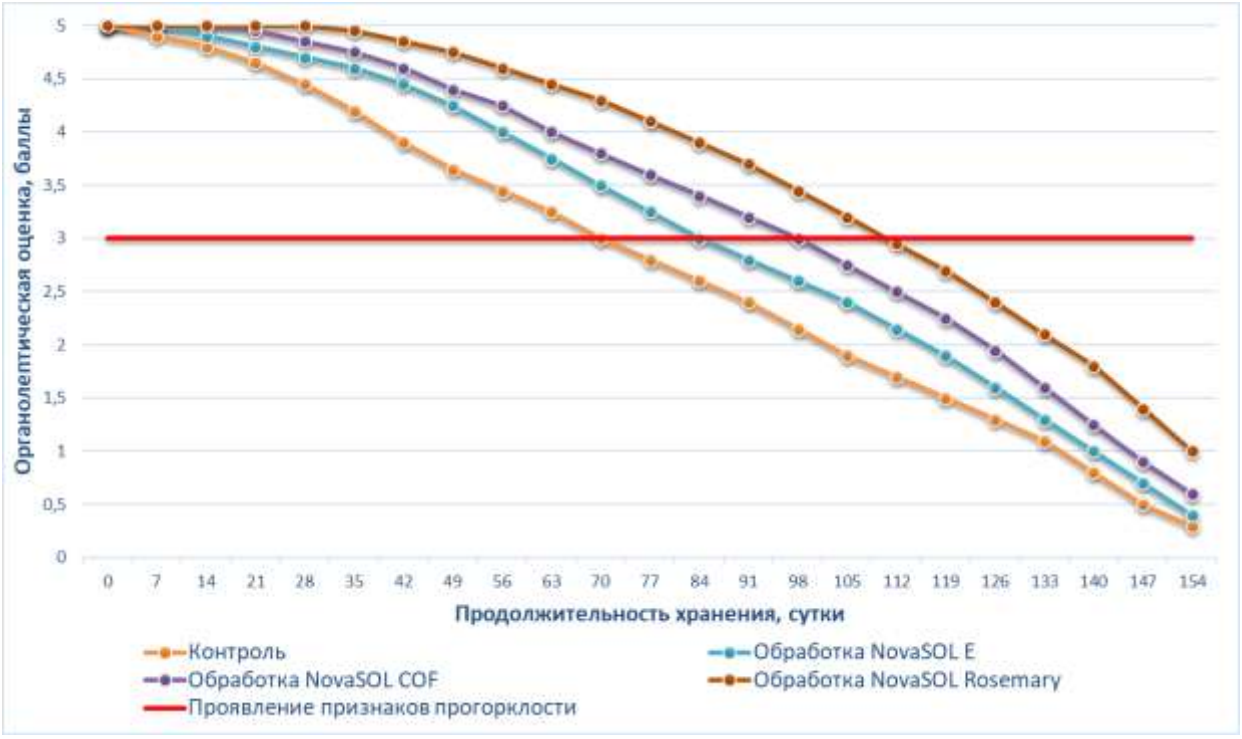


Рисунок 4.6 – Влияние обработки ядер орехов антиоксидантами линейки NovaSOL на изменение органолептического показателя «запах» в процессе хранения при 35 °C

Источник: составлено автором

Результаты определения перекисного числа в образцах орехов, обработанных антиоксидантами линейки NovaSOL показали, что обработка всеми исследуемыми препаратами позволяет замедлить скорость роста значений перекисного числа (Рисунок 4.7). При этом обработка антиоксидантом NovaSOL Rosemary оказывала наиболее сильный

стабилизирующий эффект. Нормируемый верхний предел для перекисного числа (10 ммоль½О/кг) достигался в масле исследуемых образцов орехов через 119 суток хранения для необработанных образцов и через 147 суток хранения для образцов, обработанных препаратом NovaSOL E. Для образцов, обработанных антиоксидантами NovaSOL COF и NovaSOL Rosemary, на конец периода хранения (154 сутки) не было достигнуто предельного значения перекисного числа. Эффективность исследуемых препаратов NovaSOL Rosemary, NovaSOL COF и NovaSOL E, рассчитанная по скорости роста значений перекисного числа масла орехов по отношению к контрольному варианту, показывает, что препараты антиоксидантов снижают скорость окисления соответственно в 5,2; 2,0 и 1,3 раза. Для подтверждения достоверности полученных результатов, параллельно было проведено изучение динамики содержания конъюгированных диенов в исследуемых образцах (Рисунок 4.8). Сопоставляя полученные данные с динамикой накопления перекисей и гидроперекисей в масле орехов при аналогичных видах обработки, можно отметить, что коэффициент корреляции между значениями этих двух показателей составляет 0,91, что показывает высокую степень статистической связи между показателями.

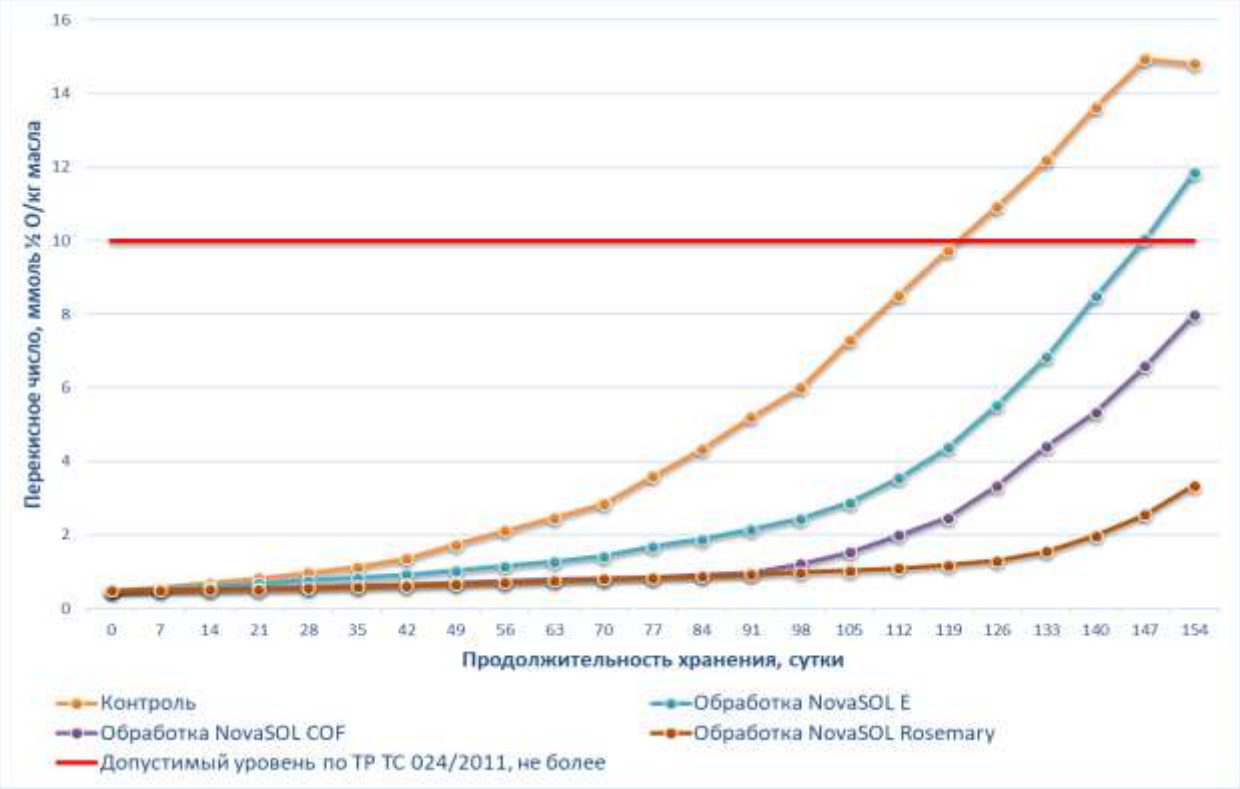


Рисунок 4.7 – Влияние обработки ядер грецких орехов антиоксидантами линейки NovaSOL на динамику перекисного числа масла в процессе хранения при 35 °С

Источник: составлено автором

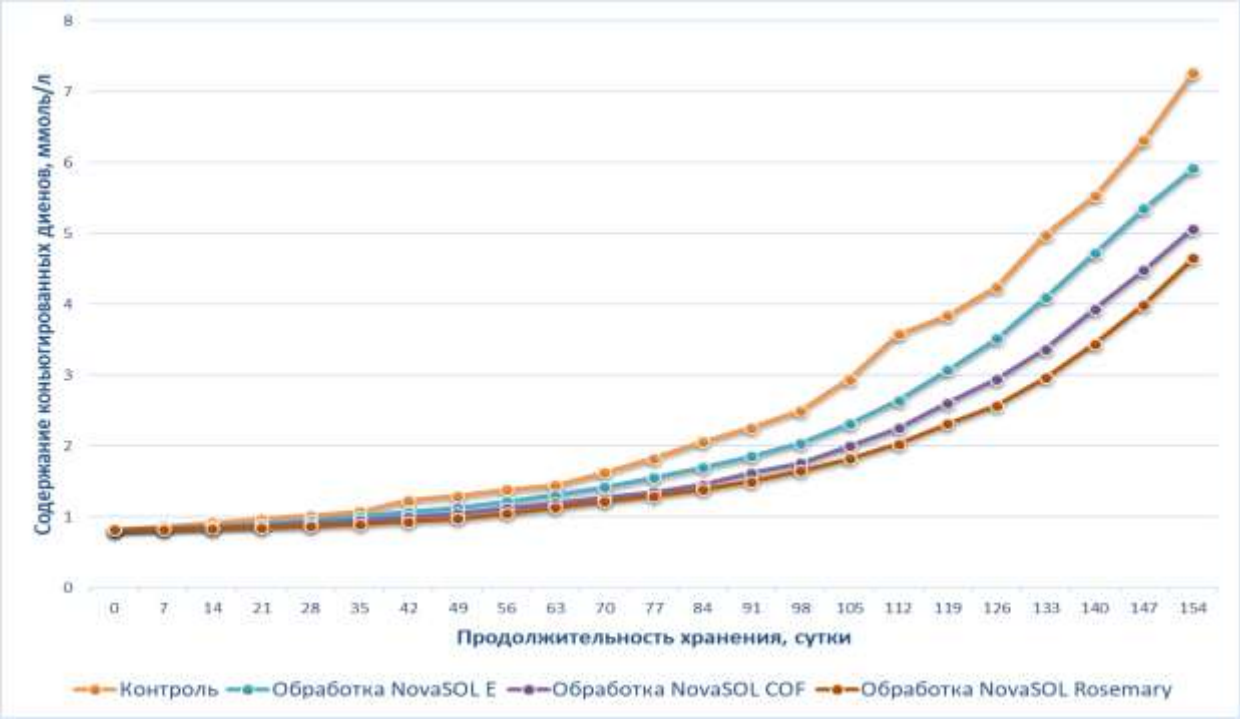


Рисунок 4.8 – Влияние обработки ядер грецких орехов антиоксидантами линейки NovaSOL на содержание конъюгированных диенов в процессе хранения при 35 °С

Источник: составлено автором

Наиболее эффективное торможение процессов окисления липидов по динамике содержания конъюгированных диенов происходит при обработке ядер орехов препаратом NovaSOL Rosemary – скорость окисления по сравнению с контрольным образцом снижалась в 1,7 раза. Эффективность препаратов NovaSOL COF и NovaSOL E была несколько ниже, чем у препарата NovaSOL Rosemary. Скорость окислительных процессов при обработке орехов антиоксидантами NovaSOL COF и NovaSOL E по сравнению с контрольным образцом снижалась в 1,5 и 1,3 раза соответственно.

Можно сделать вывод, что исследуемые антиоксиданты линейки NovaSOL снижают скорость развития окислительных процессов, но имеют различную степень эффективности. Так, препарат NovaSOL Rosemary по результатам проведенных исследований органолептических характеристик и физико-химических показателей окислительной порчи показал наибольшую способность замедлять скорость окислительных процессов и соответственно увеличивать срок годности орехов. Следовательно, для увеличения сроков годности ядер грецких орехов при хранении можно рекомендовать применение препарата NovaSOL Rosemary.

4.2.2 Влияние антиоксиданта дигидрокверцетина на активность окислительных процессов в масле грецких орехов при хранении

Дигидрокверцетин – это биофлавоноид, обладающий Р-витаминной активностью (капилляропротектор). Его производят в промышленных объемах из комлевой части ствола сибирской лиственницы. Дигидрокверцетин представляет собой порошок светло-желтого цвета без запаха, растворим в водно-спиртовых растворах, в водных растворах при нагревании до 80 °С и полярных растворителях. Содержание чистого дигидрокверцетина в порошке составляет 95 %. Профессор Ronald L. Prior предложил использовать шкалу ORAC для оценки антиоксидантной активности. Дигидрокверцетин относится к группе антиоксидантов и по шкале ORAC (Oxygen Radical Absorbance Capacity) занимает одно из первых мест. Он превосходит антиоксидантную активность токоферолов, витамина С, каротина, розмарина и др. Независимые исследования дигидрокверцетина в США позволили установить, что его антиоксидантная активность по шкале ORAC составляет 32 743,81 мкмоль TE/g (мкмоль Trolox эквивалента на грамм) и превосходит наиболее широко используемые антиоксиданты в 11 и более раз.

Безопасность дигидрокверцетина подтверждена в ЕС и США. Так, в США, безопасность дигидрокверцетина подтверждена FDA (Food and Drug Administration) – Управлением по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов Министерства здравоохранения и социальных служб США. В ЕС он известен под названием таксифолин (Taxifolin). В России применение дигидрокверцетина разрешено и регламентируется следующими нормативными документами: Постановлением Главного государственного врача от 14.11.2001 №36 «О введении в действие СанПиН 2.3.2.1078-01», Постановлением Главного государственного врача от 18.04.2003 №59 «О введении в действие СанПиН 2.3.2.1293-03», Методическими рекомендациями Государственного санитарно-эпидемиологического нормирования Российской Федерации №2.3.1.1915-04 2004 года «Рекомендуемые уровни потребления пищевых и биологически активных веществ», ГОСТ 33504-2015 «Добавки пищевые. Дигидрокверцетин. Технические условия», ТР ТС 029/2012 «Требования безопасности пищевых добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств», в котором установлен максимально разрешенный порог применения антиоксиданта дигидрокверцетина в качестве пищевой добавки – 200 мг/кг (200 мг дигидрокверцетина на 1 кг жира продукта)

В настоящее время проводятся широкомасштабные исследования по установлению эффективности использования дигидрокверцетина для стабилизации химического

окисления в жиросодержащих пищевых продуктах. Использование дигидрокверцетина в пищевой промышленности позволяет увеличить сроки хранения в 2-4 и более раз. Однако, информация об использовании дигидрокверцетина для стабилизации процессов окисления липидов при хранении орехов отсутствует. В связи с этим, нами были проведены исследования по изучению эффектности использования дигидрокверцетина для стабилизации окислительных процессов при хранении ядер грецких орехов и изучено его стабилизирующее действие по сравнению с антиоксидантами линейки NovaSOL.

В разных отраслях пищевой промышленности дигидрокверцетин применяют в широком диапазоне концентраций, наиболее часто – в пределах от 0,001 до 0,05 %. Для исследований проводили обработку образцов ядер грецких орехов водными растворами дигидрокверцетина с концентрациями 0,001; 0,005; 0,01; 0,02 и 0,05 % (10 мг, 50 мг, 100 мг, 200 мг и 500 мг антиоксиданта на 1 литр дистиллированной воды). На обработку 1 кг ядер орехов затрачивалось 100 мл раствора. Для исследования использовали аналогичные технологии обработки, условия хранения и образцы орехов, которые применялись для изучения эффективности других способов обработки. Результаты действия дигидрокверцетина на динамику органолептических характеристик и перекисного числа масла грецких орехов представлены на рисунках 4.9 и 4.10.

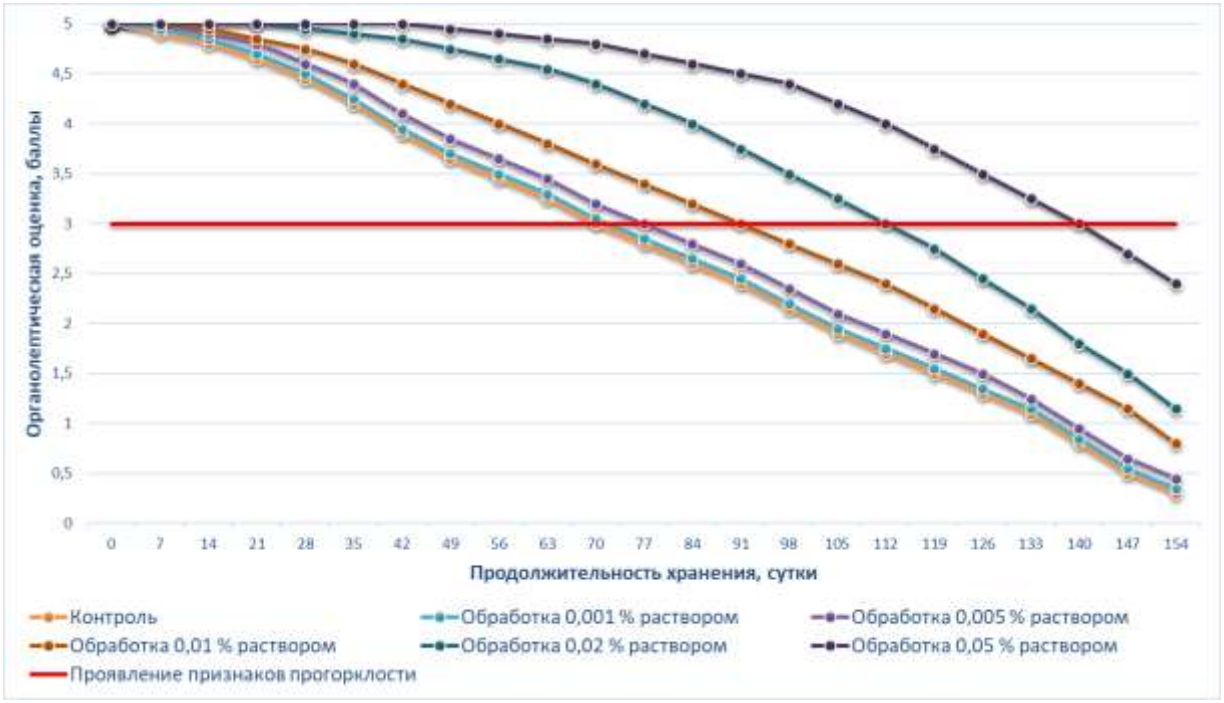


Рисунок 4.9 – Влияние концентрации раствора дигидрокверцетина на динамику органолептического показателя «запах» грецкого ореха в процессе хранения при 35 °С

Источник: составлено автором

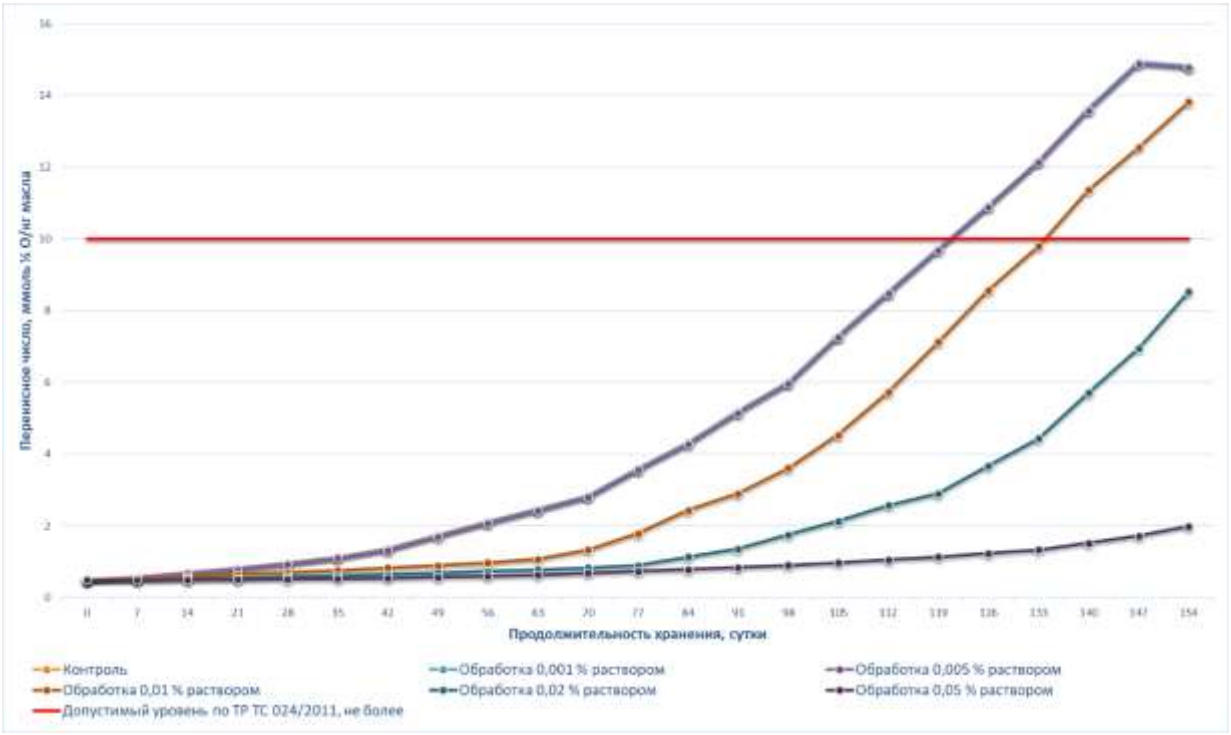


Рисунок 4.10 – Влияние концентрации раствора дигидрокверцетина на динамику перекисного числа масла грецкого ореха в процессе хранения при 35 °С

Источник: составлено автором

Как видно из полученных результатов, эффективность обработки грецких орехов раствором дигидрокверцетина в концентрациях от 0,001 и 0,005 % была низкой. Увеличение концентрации дигидрокверцетина приводило к существенному замедлению окислительных процессов, значительные эффекты наблюдались при обработке орехов раствором дигидрокверцетина в концентрациях более 0,01 %. Стоит отметить, что увеличение концентрации раствора дигидрокверцетина приводит к увеличению стоимости конечного продукта. Дигидрокверцетин не придавал грецким орехам посторонних привкусов и запахов, что обеспечивает возможность его применения в значительных концентрациях.

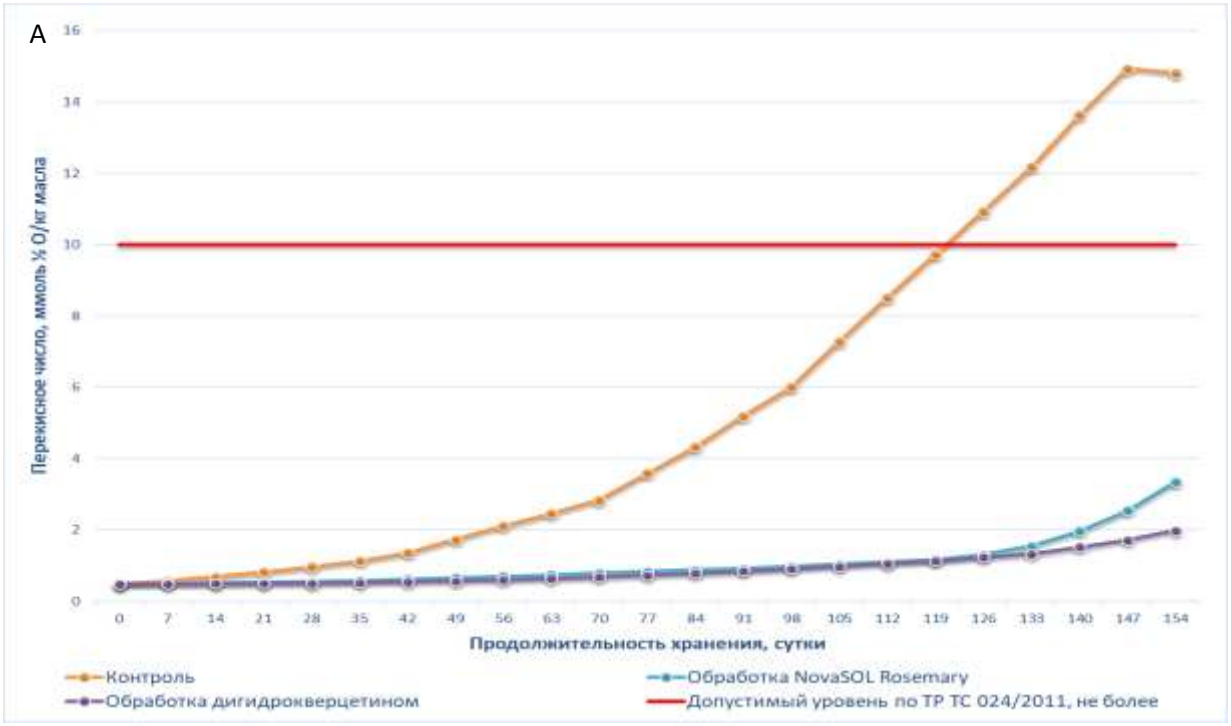
Продолжительность хранения орехов до достижения нормируемого верхнего предела для перекисного числа в контрольном образце составила 119 суток, в образце, обработанном 0,01 % раствором дигидрокверцетина – 133 суток. В образцах, обработанных 0,02 % и 0,05 % раствором дигидрокверцетина на конец периода хранения (154 сутки) не было достигнуто нормируемого предельного значения перекисного числа. Следовательно, замедление скорости течения окислительных реакций по значениям перекисного числа в образцах, обработанных дигидрокверцетином, по сравнению с контрольным образцом, составляло 1,001; 1,004; 1,081; 1,752 и 7,533 раз при обработке орехов раствором в

концентрации 0,001; 0,005; 0,01; 0,02 и 0,05 % соответственно.

Сопоставляя эффективность действия исследуемых способов обработки грецких орехов на стабилизацию окислительных процессов было установлено, что наибольшая эффективность достигается от обработки орехов антиоксидантом дигидрокверцетином. В тоже время обработка орехов препаратом антиоксиданта NovaSOL Rosemary также способствовала значительному увеличению сроков годности орехов. В этой связи нами были проведены сравнительные испытания этих двух препаратов в концентрации 0,05 % на грецких орехах одной партии, в одинаковых режимах и условиях (Рисунок 4.11).

Анализируя динамику перекисного числа, видно, что обработка и дигидрокверцетином, и NovaSOL Rosemary на протяжении 4 месяцев хранения при 35 °С сдерживала рост перекисного числа, и только после 133 суток хранения наблюдался рост значений перекисного числа, причем более интенсивный рост наблюдался в образцах, обработанных антиоксидантом NovaSOL Rosemary. Аналогичная тенденция в стабилизации окислительных процессов отмечена при анализе динамики содержания конъюгированных диенов. Значительный рост значений у образцов, обработанных антиоксидантами, наблюдался после 2 месяцев ускоренного хранения, интенсивность образования конъюгированных диенов при этом была значительно ниже у образцов, обработанных дигидрокверцетином. Следовательно, при длительном хранении ядер грецких орехов 0,05 % раствор антиоксиданта дигидрокверцетина оказывает более сильный стабилизирующий эффект по сравнению с 0,05 % раствором антиоксиданта NovaSOL Rosemary и может быть рекомендован для обработки промышленных партий ядер грецких орехов в процессе предварительной подготовки к реализации перед упаковкой или сразу после уборки орехов перед хранением и транспортированием.

Эффективность действия антиоксиданта дигидрокверцетина при обработке грецких орехов требует дополнительного, более подробного изучения, поэтому учитывая, что орехи хранятся и транспортируются, как правило, в нерегулируемых температурных условиях и температура в летний период времени может достигать высоких значений, нами было изучено влияние повышенных температур хранения на эффективность действия антиоксиданта дигидрокверцетина. Кроме того, нами была поставлена задача по установлению математической взаимосвязи между концентрацией антиоксиданта дигидрокверцетина, используемого для обработки грецких орехов, и сроком годности орехов.Для проведения исследований орехи обрабатывались раствором дигидрокверцетина в концентрациях 0,001; 0,005; 0,01 и 0,02 %, при которых достигается значительный эффект замедления окислительных процессов при незначительном увеличении себестоимости готового продукта, и хранились при трех температурных режимах – 35, 45 и 55 °С.



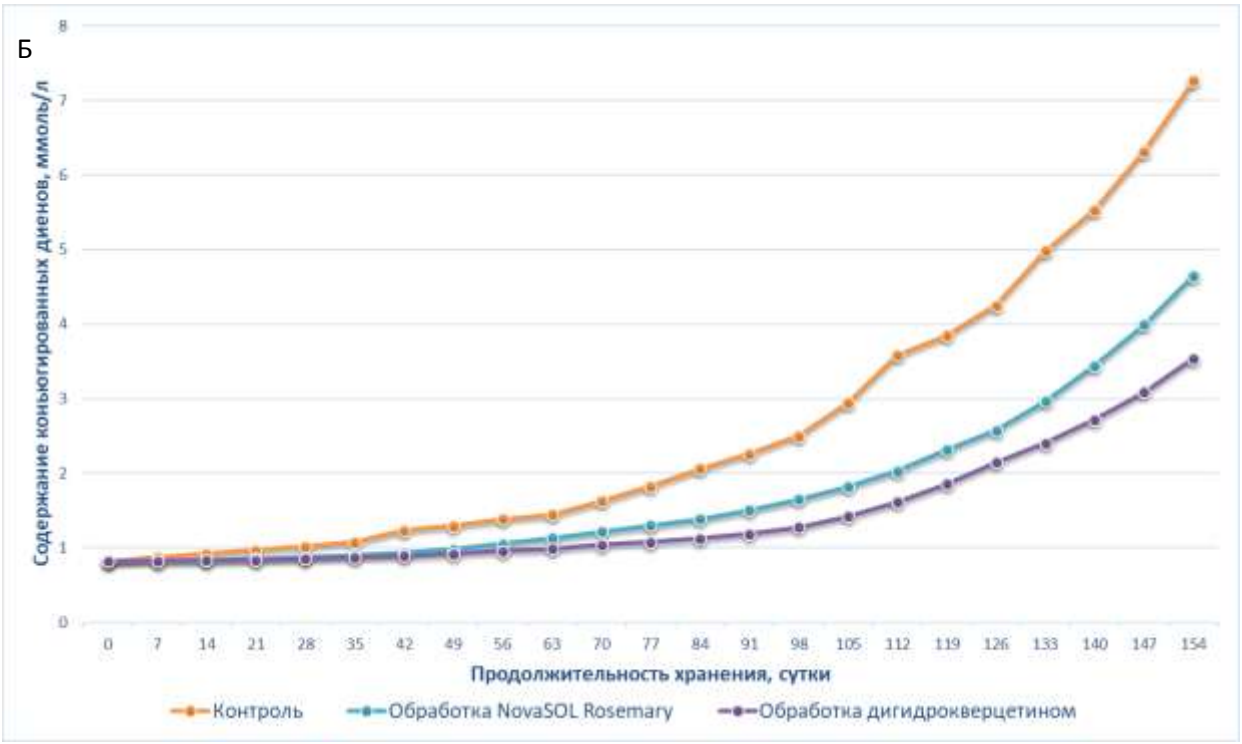


Рисунок 4.11 – Сравнительная эффективность действия антиоксидантов дигидрокверцетина и NovaSOL Rosemary на динамику перекисного числа (а) и содержание конъюгированных диенов (б) в масле ядер грецких орехов в процессе хранения при 35 °С

Источник: составлено автором

Результаты определения органолептических показателей образцов в процессе

хранения представлены на рисунке 4.12 и в Приложении Б (Таблица Б.1). По результатам органолептической оценки образцов установлено, что обработанные раствором дигидрокверцетина в концентрации 0,02 % образцы имели оптимальные значения показателей по соотношению величины эффекта обработки и концентрации раствора дигидрокверцетина по сравнению с контрольным образцом при трех температурных режимах хранения. Данная концентрация позволила достичь приемлемого качества продукта в течение 3,5 месяцев хранения при температуре хранения 35 °С, 2,5 и 1,5 месяцев при температуре хранения 45 и 55 °С соответственно. Обработка орехов с концентрацией раствора дигидрокверцетина 0,001 и 0,005 % имела крайне незначительный эффект.

Результаты определения физико-химических показателей окислительной порчи образцов грецких орехов, обработанных раствором дигидрокверцетина в различных концентрациях, в процессе ускоренного хранения – перекисного числа, тиобарбитурового числа, содержания конъюгированных диенов и содержания пропаналя и гексаналя представлены в приложении Б в таблицах Б.2, Б.3, Б.4 и Б.5 соответственно. Определение вышеперечисленных показателей в процессе ускоренного хранения позволило подтвердить, что дигидрокверцетин обладает значительным антиоксидантным эффектом на процессы окисления грецких орехов.

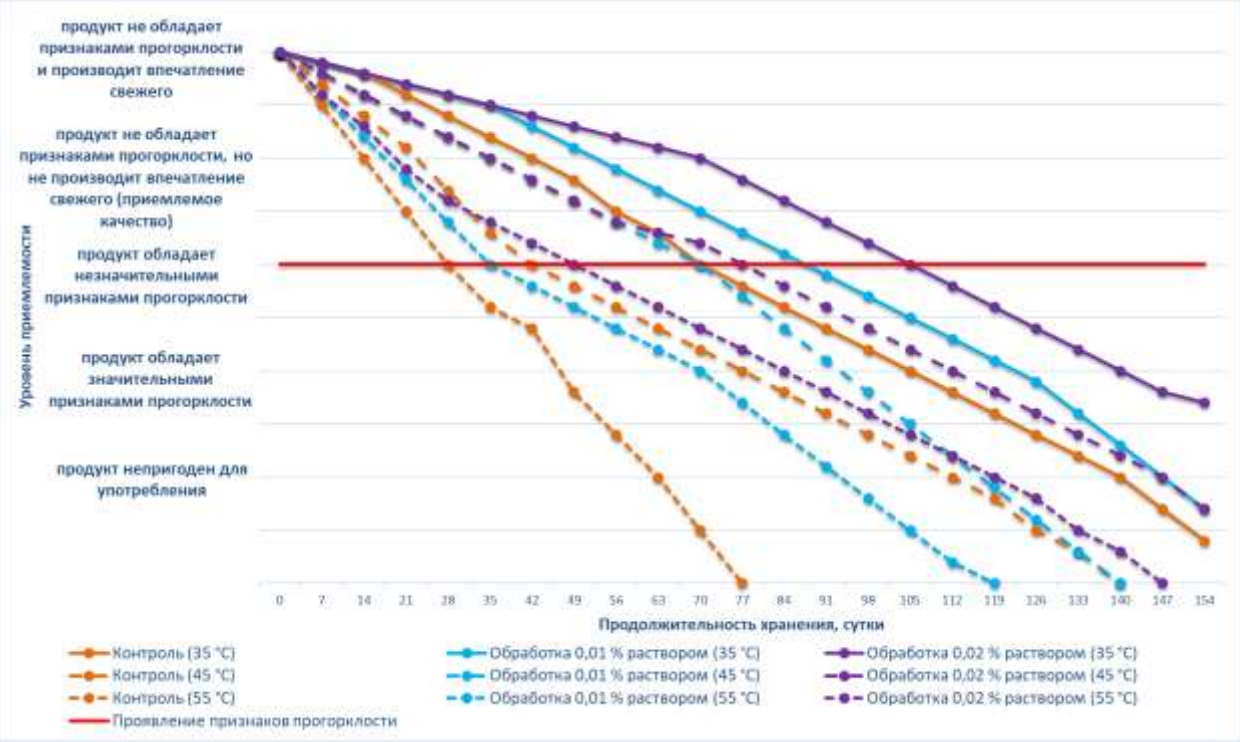


Рисунок 4.12 – Результаты органолептической оценки образцов ядер грецкого ореха, обработанных раствором дигидрокверцетина в процессе ускоренного хранения

Источник: составлено автором

С целью определения эффективности применения различных концентраций раствора дигидрокверцетина, нами был произведен расчет средней скорости роста значений физико-химических показателей окислительной порчи в образцах, обработанных вышеуказанным антиоксидантом в различных концентрациях и хранившихся в условиях ускоренного хранения (таблица Б.6 Приложение Б). Анализ полученных данных показывает, что применение раствора дигидрокверцетина в концентрации 0,001 % практически не снижает скорость окислительных реакций, в концентрации 0,005 % оказывает слабое стабилизирующее действие, а концентрация раствора дигидрокверцетина 0,01 и 0,02 % позволяет замедлить скорость окислительных реакций по сравнению с контрольным образцом максимально до 1,7 раза.

На основании полученных данных был сделан вывод об эффективности и перспективности применения дигидрокверцетина в качестве антиоксиданта для замедления скорости течения окислительных реакций в жирах грецких орехов, и как следствие, для увеличения сроков годности грецких орехов при широком диапазоне температур хранения.

Выводы по главе 4

Проведенные исследования показали, что применение физических способов обработки грецких орехов электромагнитными полями и применение антиоксидантов позволяют увеличить сроки хранения грецких орехов и снизить скорость накопления продуктов окислительных реакций.

Обработка образцов в поле самогенерирующегося разряда дает различный эффект на течение окислительных процессов в орехах в зависимости от экспозиции обработки. Результаты показали, что только обработка в течение 70 секунд позволяет достичь снижения уровня накопления продуктов окисления по сравнению с необработанным образцом. Тем не менее, применение антиоксидантов для стабилизации окислительных процессов в грецких орехах имело более значимые эффекты.

Применение исследованных антиоксидантов линейки NovaSOL позволяет снизить скорость окислительных реакций и увеличить лежкоспособность орехоплодных. Наиболее эффективным антиоксидантом из данной линейки по результатам исследований оказался антиоксидант NovaSOL Rosemary.

Обработка образцов грецких орехов антиоксидантом дигидрокверцетином позволяет достичь наиболее значимых результатов и значительно снизить скорость накопления продуктов окисления. По результатам исследований дигидрокверцетин имел наиболее сильное стабилизирующее действие на окислительные процессы по сравнению с другими изученными способами обработки.

Ввиду того, что наиболее эффективным методом из исследуемых оказался метод с

применением в качестве антиоксиданта раствора дигидрокверцетина, дальнейшие исследования и расчеты с целью прогнозирования сроков годности грецких орехов проводились при условии применения дигидрокверцетина в качестве антиоксиданта.

ГЛАВА 5 РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОГНОЗИРУЕМЫХ ОСТАТОЧНЫХ СРОКОВ ГОДНОСТИ ГРЕЦКИХ ОРЕХОВ

Для расчета предполагаемых остаточных сроков годности пищевых продуктов применяют методику ускоренного хранения (старения) продукта при повышенных температурах [2, 6, 16, 19, 97, 104, 105, 106]. Полученные данные об изменениях основных показателей физико-химических процессов, происходящих в пищевых продуктах при ускоренном хранении, применяют для расчетов и построения математических моделей, которые позволяют определить остаточный срок годности пищевого продукта при рекомендуемой температуре хранения. Среди таких математических моделей чаще всего применяют модель Аррениуса и линейную модель прогнозирования сроков годности пищевых продуктов [223].

Модель Аррениуса позволяет установить зависимость скорости какой-либо реакции от температуры [223]. Для расчета срока годности орехоплодных по данной модели необходимо выбрать показатель окислительной порчи, который имеет наибольшую корреляцию с органолептическими признаками окислительной порчи.

По полученным нами данным, все исследованные физико-химические показатели окислительной порчи имели высокую степень корреляции с органолептическими характеристиками, поэтому в ходе дальнейшего исследования модель расчета остаточных предполагаемых сроков годности определялась для всех изученных физико-химических показателей окислительной порчи. Согласно литературным данным, наибольшую корреляцию с органолептическими показателями составляет содержание гексаналя [223].

Согласно уравнению Аррениуса, для большинства пищевых продуктов ухудшение их качества описывается следующим математическим уравнением нулевого или первого порядка:

$$-\left(\frac{dA}{dt}\right) = k(A)^n \quad (1)$$

где A – качественная характеристика, измеренная в некоторых единицах;

n – порядок реакции;

k – константа скорости.

Для снижения нулевого и первого порядков данное уравнение может быть представлено следующим образом:

$$k_1 t_{S1} = k_2 t_{S2} \quad (2)$$

где k_1 – скорость реакции при температуре T_1;

k_2 – скорость реакции при температуре T_2;

t_{S1} – срок годности при температуре T_1;

t_{S2} – срок годности при температуре T_2.

Таким образом, уравнение Аррениуса может быть использовано для установления того, насколько быстрее или медленнее будет проходить реакция, если образец будет находиться при определенной температуре. Т.е. данную модель можно применять для экстраполяции результатов определения срока годности при ускоренном хранении при высоких температурах на предполагаемые результаты определения срока годности в рекомендуемых условиях хранения [156].

Скорость окисления для исследуемых образцов ядер грецких орехов без скорлупы определяли построением корреляционных зависимостей между определяемыми физико-химическими показателями окислительной порчи и временем хранения. В результате построения регрессионной модели для периода инициации окислительных процессов и периода развития окислительных процессов было определено значение в точке пересечения линий корреляции, которое показывает конец периода инициации окислительных процессов и является окончанием срока годности образца грецких орехов [268].

Ввиду того, что скорость окислительных реакций значительно увеличивается в начале периода развития окислительных процессов, то рассчитанное окончание периода инициации окислительных процессов традиционно признается сроком годности (t_S) при различных температурах ускоренного хранения.

Математическое выражение уравнения Аррениуса представляется в следующем виде:

$$k = k_0 exp^{-E_A/RT} \quad (3)$$

где k – константа скорости реакции при температуре T;

k_0 – независимая константа;

E_A – энергия активации;

R – универсальная газовая постоянная (8,314 Дж/(моль×К));

T – абсолютная температура.

Из уравнения 3 следует:

$$\log k = \log k_0 - \frac{E_A}{2{,}3RT} \quad (4)$$

Так как $k_1 t_{S1} = k_2 t_{S2}$, где k_1 – константа скорости реакции при температуре T_1, k_2 – константа скорости реакции при температуре T_2, t_{S1} – срок годности при температуре T_1, а t_{S2} – срок годности при температуре T_2, то:

$$\log\left(\frac{t_{S1}}{t_{S2}}\right) = \frac{E_A}{2{,}3R}\left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right) \quad (5)$$

Графическое представление уравнения 5 может быть получено путем преобразования срока окончания периода инициации окислительных процессов при трех различных температурах ускоренного хранения в десятичный логарифм, а температуры хранения путем преобразования в обратную величину (1/температуру хранения, выраженную в °К) [156].

5.1 Расчет прогнозируемых остаточных сроков годности грецких орехов с помощью модели Аррениуса

С целью определения прогнозируемых остаточных сроков годности образцов ядер грецких орехов при рекомендуемых условиях хранения (20 °С) на основе данных о динамике физико-химических показателей окислительной порчи орехов, хранившихся в условиях ускоренного хранения, нами были проведены построения регрессионных моделей для периода инициации окислительных процессов и периода развития окислительных процессов в жирах исследуемых образцов грецких орехов, в результате которых было определено значение в точке пересечения линий корреляции, которое показывает конец периода инициации окислительных процессов и является окончанием срока годности образца грецких орехов.

В таблице В.1 Приложения В представлены уравнения регрессии и значения коэффициентов детерминации для периода инициации и развития окислительных процессов исследуемых образцов грецкого ореха в процессе ускоренного хранения при 35, 45 и 55 °С по физико-химическим показателям окислительной порчи. Методом регрессионного анализа на

основе рассчитанных данных было получено значение прогнозируемого остаточного срока годности образцов грецких орехов при рекомендуемой температуре хранения 20 °С в соответствии с уравнением Аррениуса. Полученные данные в зависимости от исходных значений физико-химических показателей окислительной порчи (перекисного числа, тиобарбитурового числа, содержания конъюгированных диенов, содержания пропаналя и гексаналя) представлены в таблицах 5.1, 5.2, 5.3, 5.4 и 5.5 соответственно.

Стоит отметить, что при сопоставлении полученных данных о прогнозируемых остаточных сроках годности образцов ядер грецкого ореха с результатами органолептической оценки этих образцов на конец периода хранения (154 сутки), видно, что некоторые образцы в рамках прогнозируемого остаточного срока годности обладают незначительными (образцы № 2, 3, 9) или выраженными признаками прогорклости (образцы № 1, 5, 7).

При этом имеются образцы, соответствующие приемлемым органолептическим характеристикам (образцы № 4, 6, 8, 10). Данное явление может возникать из-за множества факторов (например, из-за различий в значениях массовой доли жира образцов, содержания токоферолов и т.п.). В связи с этим, результаты определения прогнозируемых сроков годности орехов нами принимались за максимальный прогнозируемый остаточный срок годности, после окончания которого образец становится непригоден для употребления.

С целью установления адекватного срока годности, по истечение которого образец некоторое время еще будет иметь небольшой запас лежкоспособности, нами был установлен рекомендуемый прогнозируемый остаточный срок годности, который составляет 80 % от максимального прогнозируемого остаточного срока годности.

Рекомендуемый прогнозируемый остаточный срок годности предполагает, что на момент его окончания грецкие орехи обладают приемлемыми органолептическими характеристиками, а физико-химические показатели окислительной порчи не превышают критические значения.

Таблица 5.1 – Прогнозируемый остаточный срок годности образцов ядер грецкого ореха по содержанию пропаналя

Образец	**Уравнение Аррениуса**	**R^2**	**Прогнозируемый срок годности при 20 °С (сутки)**
Образец 4	y = 1816,41x-3,98	0,96	157
Образец 6	y = 1898,87x-4,25	0,99	160
Образец 8	y = 1852,63x-4,10	0,95	158
Образец 10	y = 1768,67x-3,81	0,99	160

Источник: составлено автором

Таблица 5.2 – Прогнозируемый остаточный срок годности образцов ядер грецкого ореха по содержанию гексаналя

Образец	**Уравнение Аррениуса**	**R^2**	**Прогнозируемый срок годности при 20 °С (сутки)**
Образец 4	y = 1758,33x-3,76	0,99	165
Образец 6	y = 1941,79x-4,35	0,97	178
Образец 8	y = 1959,15x-4,44	0,99	166
Образец 10	y = 1930,30x-4,32	0,99	175

Источник: составлено автором

Таблица 5.3 – Прогнозируемый остаточный срок годности образцов ядер грецкого ореха по перекисному числу

Образец	**Уравнение Аррениуса**	**R^2**	**Прогнозируемый срок годности при 20 °С (сутки)**
Образец 1	y = 2649,28x-6,78	0,91	168
Образец 2	y = 2523,65x-6,38	0,82	158
Образец 3	y = 2943,25x-7,79	0,82	164
Образец 4	y = 2067,09x-4,83	0,85	158
Образец 5	y = 3664,61x-10,35	0,98	128
Образец 6	y = 2483,56x-6,23	0,97	163
Образец 7	y = 3211,50x-8,69	0,93	169
Образец 8	y = 2518,62x-6,35	0,88	163
Образец 9	y = 2724,56x-7,08	0,97	152
Образец 10	y = 2318,30x-5,66	0,91	166

Источник: составлено автором

Таблица 5.4 – Прогнозируемый остаточный срок годности образцов ядер грецкого ореха по тиобарбитуровому числу

Образец	**Уравнение Аррениуса**	**R^2**	**Прогнозируемый срок годности при 20 °С (сутки)**
Образец 1	y = 2874,63x-7,52	0,96	179
Образец 2	y = 2858,39x-7,47	0,99	177
Образец 3	y = 2820,14x-7,34	0,99	177
Образец 4	y = 2693,53x-6,89	0,94	185
Образец 5	y = 3002,44x-8,09	0,99	131
Образец 6	y = 2997,28x-7,93	0,93	182
Образец 7	y = 3050,81x-8,12	0,99	178
Образец 8	y = 2726,63x-7,03	0,98	174
Образец 9	y = 2575,35x-6,52	0,96	172
Образец 10	y = 2767,21x-7,15	0,99	181

Источник: составлено автором

Таблица 5.5 – Прогнозируемый остаточный срок годности образцов ядер грецкого ореха по содержанию конъюгированных диенов

Образец	**Уравнение Аррениуса**	**R^2**	**Прогнозируемый срок годности при 20 °С (сутки)**
Образец 1	y = 2388,41x-5,92	0,98	158
Образец 2	y = 2154,75x-5,14	0,93	153
Образец 3	y = 2183,37x-5,23	0,93	156
Образец 4	y = 2250,36x-5,45	0,97	159
Образец 5	y = 2590,36x-6,70	0,94	128
Образец 6	y = 2305,05x-5,64	0,96	157
Образец 7	y = 2380,11x-5,89	0,99	159
Образец 8	y = 2165,89x-5,16	0,91	160
Образец 9	y = 2067,86x-4,88	0,92	141
Образец 10	y = 1974,45x-4,51	0,99	159

Источник: составлено автором

При достижении рекомендуемого прогнозируемого остаточного срока годности грецкие орехи еще могут некоторое время храниться без проявления признаков прогорклости (до достижения максимального прогнозируемого срока годности). На основе полученных данных о прогнозируемых остаточных сроках годности грецких орехов нами была построена корреляционная зависимость между исходными значениями физико-химических показателей окислительной порчи образцов орехов и прогнозируемыми остаточными сроками годности. Полученные полиномиальные аппроксимационные модели четвертого и пятого порядка представлены в таблице 5.6. Полученные зависимости позволяют установить максимальные прогнозируемые остаточные сроки годности грецких орехов при их хранении в рекомендуемых условиях (при 20 °С) на основе исходных значений физико-химических показателей окислительной порчи данных орехов (на основе значений перекисного, тиобарбитурового чисел и содержания конъюгированных диенов).

Аналогичные расчеты уравнений регрессии и значений коэффициента детерминации для периода инициации и развития окислительных процессов для исследуемых образцов ядер грецких орехов, обработанных с целью увеличения сроков годности антиоксидантом дигидрокверцетином в различных концентрациях в процессе ускоренного хранения при 35, 45 и 55 °С представлены в таблице В.2 в Приложении В. Для обработки антиоксидантом дигидрокверцетином был выбран образец ядер грецких орехов № 10, имевший наилучшие начальные органолептические и физико-химические характеристики.

Таблица 5.6 – Зависимость прогнозируемых остаточных сроков годности образцов грецких орехов от исходных значений физико-химических показателей окислительной порчи

	Полиномиальная модель	**Величина достоверности аппроксимации**
Зависимость прогнозируемого остаточного срока годности образцов грецких орехов от исходного значения перекисного числа	$y = -0{,}0083x^4 + 0{,}264x^3 - 1{,}4844x^2 - 20{,}907x + 177{,}44$	$R^2 = 0{,}9870$
Зависимость прогнозируемого остаточного срока годности образцов грецких орехов от исходного значения тиобарбитурового числа	$y = 3344{,}1x^5 - 8794{,}2x^4 + 7593x^3 - 2131{,}9x^2 - 207{,}71x + 196{,}18$	$R^2 = 0{,}9703$
Зависимость прогнозируемого остаточного срока годности образцов грецких орехов от исходного содержания конъюгированных диенов	$y = -9{,}2886x^5 + 97{,}786x^4 - 352{,}64x^3 + 497{,}5x^2 - 281{,}02x + 212{,}33$	$R^2 = 0{,}9832$

Источник: составлено автором

Методом регрессионного анализа на основе рассчитанных данных были получены значения максимальных прогнозируемых остаточных сроков годности образцов грецких орехов, обработанных антиоксидантом дигидрокверцетином в различных концентрациях, при рекомендуемой температуре хранения 20 °С в соответствии с уравнением Аррениуса. Полученные данные в зависимости от исходных значений физико-химических показателей окислительной порчи представлены в таблицах 5.7, 5.8, 5.9, 5.10 и 5.11.

Таблица 5.7 – Прогнозируемый остаточный срок годности ядер грецких орехов, обработанных антиоксидантом дигидрокверцетином, по содержанию пропаналя

Образец	**Уравнение Аррениуса**	**R^2**	**Прогнозируемый срок годности при 20 °С (сутки)**
Контроль	y = 1768,67x-3,81	0,99	160
Обработка 0,001 % раствором	y = 1768,67x-3,81	0,99	160
Обработка 0,005 % раствором	y = 1767,37x-3,79	0,98	165
Обработка 0,01 % раствором	y = 1754,63x-3,69	0,93	188
Обработка 0,02 % раствором	y = 1778,95x-3,69	0,96	228

Источник: составлено автором

Таблица 5.8 – Прогнозируемый остаточный срок годности ядер грецких орехов, обработанных антиоксидантом дигидрокверцетином, по содержанию гексаналя

Образец	**Уравнение Аррениуса**	**R^2**	**Прогнозируемый срок годности при 20 °С (сутки)**
Контроль	y = 1930,30x-4,32	0,99	175
Обработка 0,001 % раствором	y = 1930,30x-4,32	0,99	175
Обработка 0,005 % раствором	y = 1901,25x-3,76	0,97	176
Обработка 0,01 % раствором	y = 1513,58x-2,89	0,91	180
Обработка 0,02 % раствором	y = 1778,42x-3,66	0,99	243

Источник: составлено автором

Таблица 5.9 – Прогнозируемый остаточный срок годности ядер грецких орехов, обработанных антиоксидантом дигидрокверцетином, по перекисному числу

Образец	**Уравнение Аррениуса**	**R^2**	**Прогнозируемый срок годности при 20 °С (сутки)**
Контроль	y = 2318,30x-5,66	0,91	166
Обработка 0,001 % раствором	y = 2318,30x-5,66	0,91	166
Обработка 0,005 % раствором	y = 2273,71x-5,34	0,93	170
Обработка 0,01 % раствором	y = 2168,78x-5,10	0,97	187
Обработка 0,02 % раствором	y = 1898,09x-4,10	0,99	226

Источник: составлено автором

Таблица 5.10 – Прогнозируемый остаточный срок годности ядер грецких орехов, обработанных антиоксидантом дигидрокверцетином, по тиобарбитуровому числу

Образец	**Уравнение Аррениуса**	**R^2**	**Прогнозируемый срок годности при 20 °С (сутки)**
Контроль	y = 2767,21x-7,15	0,99	181
Обработка 0,001 % раствором	y = 2767,21x-7,15	0,99	181
Обработка 0,005 % раствором	y = 2654,31x-6,83	0,98	185
Обработка 0,01 % раствором	y = 2331,21x-5,63	0,99	197

Продолжение таблицы 5.10

Обработка 0,02 % раствором	y = 2341,27x-5,57	0,97	245

Источник: составлено автором

Таблица 5.11 – Прогнозируемый остаточный срок годности ядер грецких орехов, обработанных антиоксидантом дигидрокверцетином, по содержанию конъюгированных диенов

Образец	**Уравнение Аррениуса**	**R^2**	**Прогнозируемый срок годности при 20 °С (сутки)**
Контроль	y = 1974,45x-4,51	0,99	159
Обработка 0,001 % раствором	y = 1974,45x-4,51	0,99	159
Обработка 0,005 % раствором	y = 1942,45x-4,43	0,97	163
Обработка 0,01 % раствором	y = 1878,85x-4,13	0,99	181
Обработка 0,02 % раствором	y = 1904,46x-4,12	0,96	226

Источник: составлено автором

5.2 Расчет остаточных прогнозируемых сроков годности грецких орехов с помощью линейной модели

Аналогичные расчеты прогнозируемого остаточного срока годности пищевых продуктов можно провести в соответствии с линейной моделью прогнозирования сроков годности, которая представляется следующим выражением:

$$k = k_0 e^{b(T-T_0)} \quad (6)$$

где k_0 – скорость реакции при температуре T_0 (°С);

k – скорость реакции при температуре T (°С);

b – постоянный параметр реакции.

Так как $k_1 t_{S1} = k_2 t_{S2}$, где k_1 – константа скорости реакции при температуре T_1, k_2 –

константа скорости реакции при температуре T_2, t_{S1} – срок годности при температуре T_1, а t_{S2} – срок годности при температуре T_2, то:

$$\log\left(\frac{t_{S1}}{t_{S2}}\right) = \frac{b}{2,3}(T_1 - T_2) \quad (7)$$

Линейная модель срока годности пищевого продукта получается путем построения корреляционной зависимости между десятичным логарифмом предполагаемого срока годности при определенной температуре и этой температурой (°C) [268].

В таблицах 5.12, 5.13, 5.14, 5.15 и 5.16 представлены прогнозируемые остаточные сроки годности образцов ядер грецких орехов, хранящихся в рекомендуемых условиях (при 20 °C), обработанных антиоксидантом дигидрокверцетином в различных концентрациях, в соответствии с линейной моделью прогнозирования сроков годности пищевых продуктов.

Таблица 5.12 – Прогнозируемый остаточный срок годности ядер грецких орехов, обработанных антиоксидантом дигидрокверцетином, по содержанию пропаналя

Образец	**Уравнение линейной модели**	**R^2**	**Прогнозируемый срок годности при 20 °C (сутки)**
Контроль	y = -0,0175x+2,54	0,99	149
Обработка 0,001 % раствором	y = -0,0175x+2,54	0,99	149
Обработка 0,005 % раствором	y = -0,0175x+2,56	0,98	155
Обработка 0,01 % раствором	y = -0,0174x+2,62	0,94	180
Обработка 0,02 % раствором	y = -0,0177x+2,70	0,97	213

Источник: составлено автором

Таблица 5.13 – Прогнозируемый остаточный срок годности ядер грецких орехов, обработанных антиоксидантом дигидрокверцетином, по содержанию гексаналя

Образец	**Уравнение линейной модели**	**R^2**	**Прогнозируемый срок годности при 20 °C (сутки)**
Контроль	y = -0,0191x+2,61	0,99	162
Обработка 0,001 % раствором	y = -0,0191x+2,61	0,99	162
Обработка 0,005 % раствором	y = -0,0184x+2,68	0,97	164

Продолжение таблицы 5.13

Обработка 0,01 % раствором	y = -0,0151x+2,55	0,92	171
Обработка 0,02 % раствором	y = -0,0176x+2,72	0,99	224

Источник: составлено автором

Таблица 5.14 – Прогнозируемый остаточный срок годности ядер грецких орехов, обработанных антиоксидантом дигидрокверцетином, по перекисному числу

Образец	**Уравнение линейной модели**	**R^2**	**Прогнозируемый срок годности при 20 °С (сутки)**
Контроль	y = -0,0228x+2,66	0,90	152
Обработка 0,001 % раствором	y = -0,0228x+2,66	0,90	152
Обработка 0,005 % раствором	y = -0,0223x+2,65	0,93	157
Обработка 0,01 % раствором	y = -0,0214x+2,68	0,96	170
Обработка 0,02 % раствором	y = -0,0188x+2,72	0,99	211

Источник: составлено автором

Таблица 5.15 – Прогнозируемый остаточный срок годности ядер грецких орехов, обработанных антиоксидантом дигидрокверцетином, по тиобарбитуровому числу

Образец	**Уравнение линейной модели**	**R^2**	**Прогнозируемый срок годности при 20 °С (сутки)**
Контроль	y = -0,0274x+2,78	0,99	160
Обработка 0,001 % раствором	y = -0,0274x+2,78	0,99	160
Обработка 0,005 % раствором	y = -0,0262x+2,77	0,97	164
Обработка 0,01 % раствором	y = -0,0231x+2,74	0,99	180
Обработка 0,02 % раствором	y = -0,0232x+2,84	0,98	225

Источник: составлено автором

Сравнивая значения максимального прогнозируемого остаточного срока годности, рассчитанного с помощью уравнения Аррениуса и линейной модели прогнозирования срока годности, видим, что значительной разницы не наблюдается. Данные, полученные с

использованием обеих моделей обладают высокой достоверностью (R^2 находится в пределах от 0,91 до 0,99). Разница в предполагаемых сроках годности между двумя данными моделями составляет менее 10 %.

Таблица 5.16 – Прогнозируемый остаточный срок годности ядер грецких орехов, обработанных антиоксидантом дигидрокверцетином, по содержанию конъюгированных диенов

Образец	**Уравнение линейной модели**	**R^2**	**Прогнозируемый срок годности при 20 °С (сутки)**
Контроль	y = -0,0195x+2,58	0,99	148
Обработка 0,001 % раствором	y = -0,0195x+2,58	0,99	148
Обработка 0,005 % раствором	y = -0,0192x+2,59	0,98	153
Обработка 0,01 % раствором	y = -0,0186x+2,61	0,99	166
Обработка 0,02 % раствором	y = -0,0188x+2,71	0,95	207

Источник: составлено автором

Полученные результаты расчета прогнозируемого остаточного срока годности образцов грецкого ореха, хранящихся в рекомендуемых условиях хранения (при 20 °С), подвергнутых обработке раствором антиоксиданта дигидрокверцетина в различных концентрациях, показали, что обработка раствором в концентрации 0,01 и 0,02 % дает значительный антиокислительный эффект. Это подтверждает возможность использования дигидрокверцетина в качестве антиоксиданта для увеличения сроков годности ядер грецких орехов. Образцы, обработанные раствором дигидрокверцетина в концентрации 0,001 и 0,005 % не показали значительного антиокислительного эффекта.

С целью определения концентрации раствора антиоксиданта дигидрокверцетина, необходимого для обработки однородной партии грецкого ореха, имеющей определенные значения физико-химических показателей окислительной порчи, и для увеличения сроков годности такой партии орехов, нами была рассчитана корреляционная зависимость между прогнозируемым остаточным сроком годности грецких орехов, обработанных антиоксидантом дигидрокверцетином, и концентрацией раствора антиоксиданта дигидрокверцетина, применяемого для обработки. Уравнения корреляционной зависимости представлены в таблице 5.17. За «х» принимается значение, равное отношению желаемого прогнозируемого остаточного срока годности образца, обработанного антиоксидантом дигидрокверцетином, к максимальному

прогнозируемому остаточному сроку годности образца.

Таблица 5.17 – Корреляционная зависимость концентрации раствора антиоксиданта дигидрокверцетина и прогнозируемого остаточного срока годности обработанных грецких орехов

	Уравнение регрессии	**Величина достоверности аппроксимации**
Зависимость концентрации раствора антиоксиданта дигидрокверцетина и остаточного срока годности обработанных грецких орехов по перекисному числу	y = 0,0509x - 0,0487	R^2 = 0,9391
Зависимость концентрации раствора антиоксиданта дигидрокверцетина и остаточного срока годности обработанных грецких орехов по тиобарбитуровому числу	y = 0,0508x - 0,0481	R^2 = 0,9130
Зависимость концентрации раствора антиоксиданта дигидрокверцетина и остаточного срока годности обработанных грецких орехов по содержанию конъюгированных диенов	y = 0,0433x - 0,0409	R^2 = 0,9330

Источник: составлено автором

Необходимо отметить, что ТР ТС 029/2012 «Требования безопасности пищевых добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств» [131] установлен максимально разрешенный порог применения антиоксиданта дигидрокверцетина в качестве пищевой добавки – 200 мг/кг (200 мг дигидрокверцетина на 1 кг жира продукта). Так как массовая доля жира в грецких орехах согласно литературным данным в среднем составляет 70 %, то на 1 кг орехов максимально разрешено ТР ТС применять 140 мг дигидрокверцетина. По методике на 1 кг орехов уходит 100 мл раствора антиоксиданта дигидрокверцетина, соответственно, максимально разрешенная концентрация раствора антиоксиданта дигидрокверцетина для обработки орехов составляет 0,14 %.

5.3 Разработка методики расчета оптимальной концентрации дигидрокверцетина для установления остаточных сроков годности

На основе полученных данных считаем возможным разработку модели, позволяющей на

основе исходных значений физико-химических показателей окислительной порчи грецкого ореха (перекисное число, тиобарбитуровое число и содержание конъюгированных диенов) установить максимальный и рекомендуемый прогнозируемые остаточные сроки годности, а также определить необходимую концентрацию раствора антиоксиданта дигидрокверцетина, при обработке которой грецкие орехи будут храниться в течение желаемого прогнозируемого остаточного срока годности.

Для автоматизированного расчета данных показателей нами была разработана программа для ЭВМ «Walnuts shelf life». Программа обеспечивает возможность прогнозирования остаточного срока годности образца грецких орехов при вводе значений одного или нескольких физико-химических показателей окислительной порчи (перекисного, тиобарбитурового чисел или содержания конъюгированных диенов) (при условии приемлемости органолептических характеристик) и автоматического расчета необходимой концентрации раствора антиоксиданта дигидрокверцетина для обеспечения заданного срока хранения.

Методика работы программы для ЭВМ основана на результатах проведенных исследований образцов ядер грецких орехов. Интерфейс программы представлен на рисунке 5.1. Алгоритм работы программы представлен на рисунке 5.2. Программа зарегистрирована, получено свидетельство о регистрации программы для ЭВМ «Walnuts Shelf Life» № 2017661298 от 09.10.2017 г. Также нами разработаны методические указания по определению прогнозируемых остаточных сроков годности грецких орехов (Приложение Г).

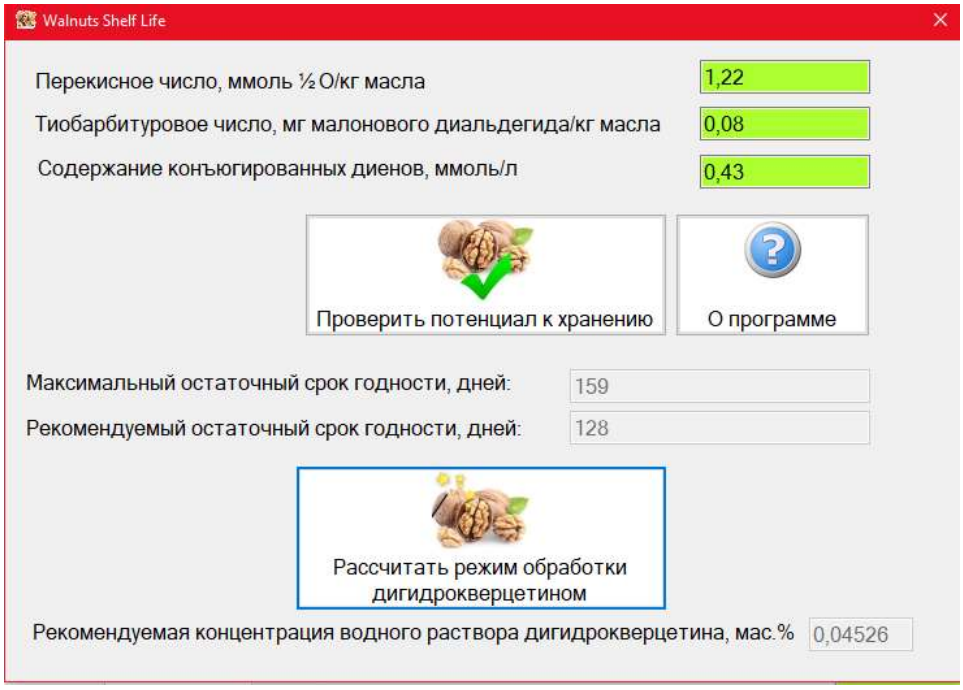


Рисунок 5.1 – Интерфейс программы для ЭВМ «Walnuts shelf life»

Источник: составлено автором

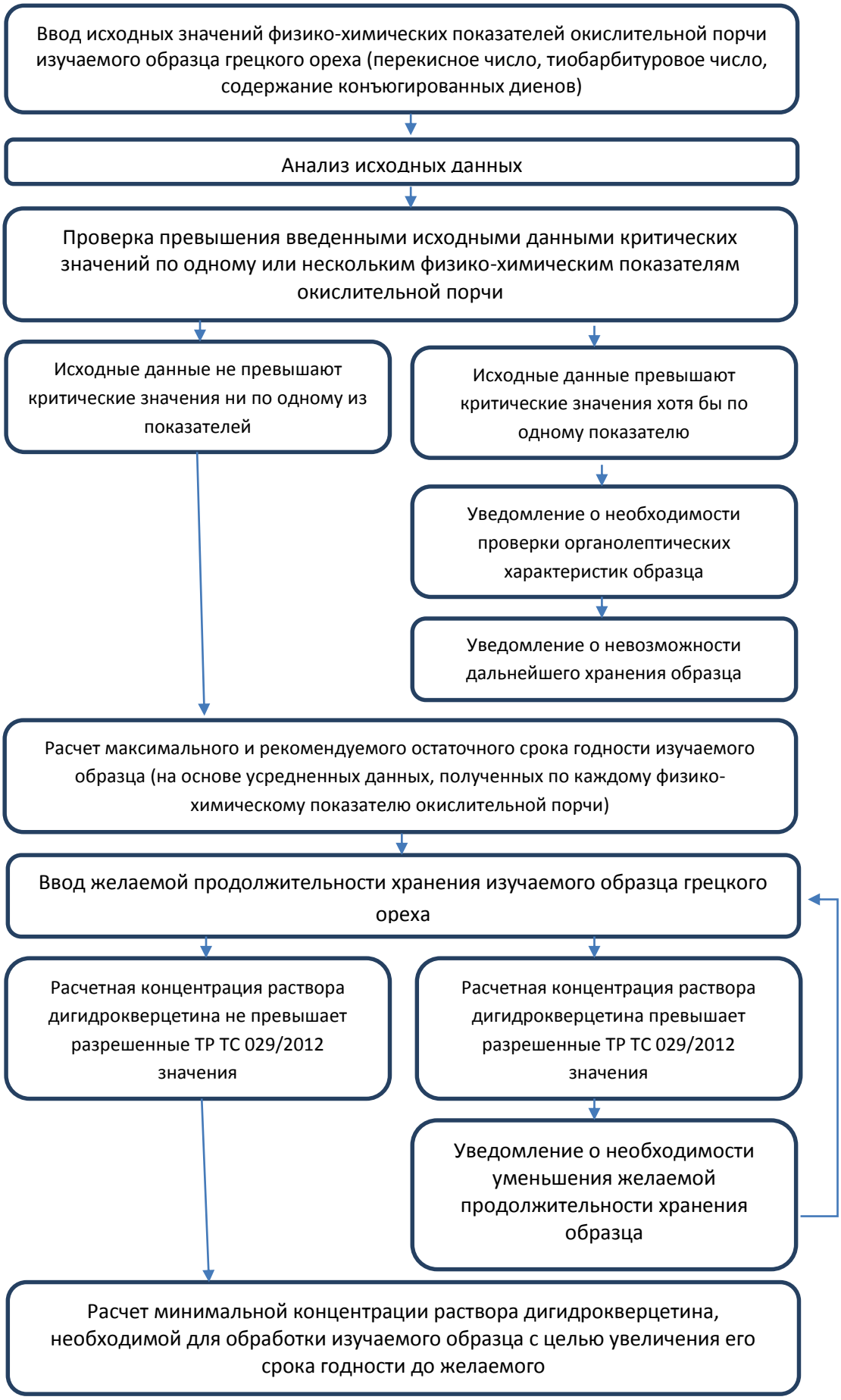


Рисунок 5.2 – Алгоритм работы программы для ЭВМ «Walnuts shelf life»

Источник: составлено автором

5.4 Технико-экономическое обоснование применения дигидрокверцетина в качестве антиоксиданта для увеличения срока годности грецких орехов

Расчет увеличения себестоимости ядер грецких орехов при их обработке антиоксидантом дигидрокверцетином для увеличения срока годности приведен в таблице 5.18.

Таблица 5.18 – Себестоимость партии грецких орехов, обработанных антиоксидантом дигидрокверцетином

Наименование товара	**Стоимость, руб.**
Порошок антиоксиданта дигидрокверцетина, 2 г (на партию ядер грецкого ореха в 1 000 кг при концентрации 0,02 %)	200,00
Машина для нанесения пищевых покрытий, 1 шт	200 000,00
Дистиллятор, 1 шт	80 000,00
Вода для получения раствора антиоксиданта дигидрокверцетина (0,1 $м^3$ на партию ядер грецкого ореха в 1 000 кг)	3,50
Электроэнергия, потребляемая машиной для нанесения пищевых покрытий и дистиллятором (на партию ядер грецкого ореха в 1 000 кг)	2 000,00
Амортизационные отчисления за машину для нанесения пищевых покрытий и дистиллятор в год	42 000,00
Итого:	**324 203,50**

Источник: составлено автором

Таким образом, затраты на наладку системы обработки грецких орехов антиоксидантом дигидрокверцетином не превышают 350 тыс. руб. Дальнейшее применение для обработки антиоксиданта дигидрокверцетина потребует дополнительных расходов лишь на закупку самого антиоксиданта и обслуживание оборудования, что приведет к увеличению себестоимости продукции на 1,5-2,0 %. При этом его применение позволит минимизировать объем продукции, непригодной для употребления и подлежащей утилизации и увеличить сроки годности орехов до 3,7 раз, что позволит получить значительную экономическую выгоду.

Выводы по главе 5

Установлены максимальный и рекомендуемый остаточные сроки годности исследуемых образцов грецких орехов с помощью применения двух моделей прогнозирования сроков годности пищевой продукции (модель Аррениуса и линейная модель прогнозирования срока годности). На основании полученных данных были выведены математические модели, позволяющие установить прогнозируемый остаточный срок годности партии грецких орехов на основании исходных значений физико-химических показателей окислительной порчи данной партии.

Была рассчитана математическая зависимость между концентрацией раствора антиоксиданта дигидрокверцетина, применяемого с целью увеличения сроков годности грецких орехов, и прогнозируемыми остаточными сроками годности образцов.

Полученные зависимости были положены в основу разработанной программы для ЭВМ «Walnuts shelf life», обеспечивающей возможность автоматического расчета прогнозируемых остаточных сроков годности грецких орехов, а также концентрации раствора антиоксиданта дигидрокверцетина, необходимого для обработки орехов, с целью достижения желаемого остаточного срока годности.

По результатам исследований также показана экономическая эффективность применения дигидрокверцетина в качестве антиоксиданта для увеличения лежкоспособности грецких орехов – рост себестоимости партии грецких орехов при обработке их антиоксидантом дигидрокверцетином составит менее 2,0 %, при этом срок годности грецких орехов увеличивается до 3,7 раз.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. По результатам мониторинга качества ядер грецких орехов различных производителей, реализуемых в розничных торговых предприятиях, установлено значительное варьирование исходного качества – 80 % исследованных партий не соответствовали по реальному уровню лежкоспособности срокам годности, установленным производителем. На основании кластерного анализа результатов динамики показателей окислительной стабильности исследуемых партий предложена группировка орехов, реализуемых в торговой сети, на 3 кластера, имеющих разные уровни исходной окислительной стабильности и для каждого кластера установлены сроки годности.

2. Установлено, что скорость окисления и гидролиза жиров грецких орехов сорта «Урожайный» при хранении при -18 °С снижается более чем в 6 раз по сравнению с хранением при +20 °С, гидролиза белков – в 2,5 раза, а гидролиза крахмала – почти в 8 раз. Хранение более одного года при отрицательных температурах приводит к ухудшению органолептических характеристик и консистенции орехов.

3. Снижение содержания аскорбиновой кислоты при хранении до 1,0-1,5 мг/100 г, как антиоксиданта дубильных веществ, происходит на фоне увеличения активности фермента полифенолоксидазы и сопровождается активизацией окисления дубильных веществ с последующим накоплением темноокрашенных продуктов окисления – флобафенов, вызывающих потемнение пленки и ядра орехов и появление неприятных вкусовых и ароматических ощущений. Контроль за содержанием аскорбиновой кислоты при хранении грецких орехов может служить маркером изменения цвета орехов при хранении.

4. Установлены критические значения физико-химических показателей окислительной порчи для прогнозирования срока годности грецких орехов, характеризующие уровень их окислительной стабильности: перекисное число – 6,4-6,5 ммоль½О/кг; тиобарбитуровое число – 0,7-0,8 мг малонового диальдегида/кг; содержание конъюгированных диенов – 2,3-2,4 ммоль/л; содержание пропаналя и гексаналя – 85,0-90,5 и 45,9-52,4 мкг/кг соответственно.

5. На основании анализа результатов степени корреляционной зависимости между органолептическими и физико-химическими показателями окислительной порчи ядер грецких орехов при хранении при 20, 35, 45 и 55 °С было установлено, что наиболее оптимальным режимом ускоренного хранения, позволяющим прогнозировать развитие окислительных реакций, является температура 35 °С. Срок хранения грецких орехов при 35 °С сокращается в среднем в 2,8 раза по сравнению со сроком хранения орехов при 20 °С.

6. Проведены сравнительные исследования эффективности действия обработки грецких орехов с целью увеличения их лежкоспособности электромагнитными полями самогенерирующегося разряда и четырьмя натуральными антиоксидантами. Установлено, что максимальный уровень снижения скорости окислительных процессов достигается при обработке орехов раствором антиоксиданта дигидрокверцетина. Значительный эффект на стабилизацию окислительных процессов оказывают антиоксиданты линейки NovaSOL фирмы AQUANOVA AG (Германия), содержащие наночастицы активных веществ (экстракт розмарина, токоферолы и аскорбиновую кислоту), обработка в ЭМП самогенерирующего разряда позволяет незначительно снизить скорость окисления липидов грецких орехов.

7. Проведены расчеты остаточных сроков годности грецких орехов с помощью двух моделей прогнозирования – модели Аррениуса и линейной модели. Разработаны полиномиальные аппроксимационные модели четвертого и пятого порядков для определения зависимости прогнозируемого срока годности образцов грецких орехов от исходных значений физико-химических показателей окислительной порчи (перекисного, тиобарбитурового чисел и содержания конъюгированных диенов).

8. Разработана методика определения прогнозируемого остаточного срока годности грецких орехов на основе исходных значений физико-химических показателей окислительной порчи жиров грецкого ореха.

9. С целью автоматизации расчетов, разработана программа для ЭВМ «Walnuts shelf life», реализующая методику определения прогнозируемого остаточного срока годности грецких орехов в зависимости от исходных значений физико-химических показателей окислительной порчи и обеспечивающая расчет концентрации раствора антиоксиданта дигидрокверцетина, необходимой для обработки грецких орехов с целью достижения желаемого срока годности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абдурахманов, И. М. Оценка качества грецких орехов, реализуемых в магазинах города Ульяновска / И. М. Абдурахманов, Ю. С. Карпова, А. Р. Чатанова // Актуальные проблемы инфекционной патологии и биотехнологии. Материалы VIII-ой Междун. студенческой науч. конференции. – 2015. – С. 10-15.

2. Актериан, С. Способ прогнозирования сроков годности пищевых продуктов с использованием качественных характеристик и факторов окружающей среды / С. Актериан // Известия ВУЗов. Пищевая технология. – 1997. - № 6. – С. 66 – 68.

3. Анточий, О. В. Биохимическая характеристика липидно-белкового комплекса плодов грецкого ореха и лещины и разработка функциональных пищевых продуктов на их основе : дис. … учен. степ. канд. техн. наук : 03.00.04, 05.18.06 / Анточий Ольга Владимировна. – Краснодар, 2004. – 153 с.

4. Бабий, Н. В. Дигидрокверцетин – природный антиоксидант XXI века / Н. В. Бабий [и др.] // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2009. – № 7. – С. 46-47.

5. Баденко, А. Л. Сравнительная оценка действия на клетки растений электромагнитных полей экологической природы / А. Л. Баденко // Применение электромагнитных полей в сельскохозяйственном производстве: Сб. науч. тр. Агрофизического НИИ – Л., 1988. – С. 94-97.

6. Базарнова, Ю. Г. Применения кинетического моделирования для прогнозирования сроков хранения коровьего масла / Ю. Г. Базарнова // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2005. - № 8. – С. 19–23.

7. Барабой, В. А. Перекисное окисление и стресс / В. А. Барабой, И. И. Брехман, В. Г. Голотин, Ю. Б. Кудряшов. – СПб. : Наука, 1992. – 148 с.

8. Берзегова, А. А. Сравнительный анализ содержания жирного масла в грецком и лесном орехах / А. А. Берзегова // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2008. – № 2. – С. 58-60.

9. Берзегова, А. А. Химический состав плодов грецкого ореха / А. А. Берзегова // Новые технологии. – 2007. – № 4. – С. 42-43.

10. Биологические механизмы и феномены действия низкочастотных и статических электромагнитных полей на живые системы // Материалы всесоюзного симпозиума / Под ред. Г. Ф. Плеханова. – Томск : Издательство Томского Университета, 1984. – 158 с.

11. Богданова, А. А. Влияние различного напряжения и времени воздействия электростатического поля на морфофизиологические показатели Chlorella vulgaris /

А. А. Богданова, Н. А. Суховский // Актуальные проблемы биологии и экологии. Материалы докладов XXI Всероссийской молодежной науч. конференции. – Сыктывкар : УрОРАН. – 2014. – 372 с.

12. Будаговский, А. В. Совершенствование электротехнологических методов лазерной обработки растений и плодов : дис. … учен. степ. канд. техн. наук : 05.20.02 / Будаговский Андрей Валентинович. – М., 2006. – 313 с.

13. Васипов, В. В. Грецкий орех (*Juglans regia* l.) - перспективный источник биологически активных веществ / В. В. Васипов, А. А. Вытовтов // Пища. Экология. Качество. Труды XIII междун. науч.-практ. конференции. – 2016. – С. 223-228.

14. Вистовская, В. П. Исследование химического состава кедрового ореха / В. П. Вистовская // Сельскохозяйственная наука АПК Сибири, Монголии, Казахстана и Кыргызстана. Труды 7-й Междун. науч.-практ. конференции. – 2004. – С. 523-526.

15. Владимиров, Ю. А. Свободные радикалы в живых системах / Ю. А. Владимиров, О. А. Азизова, А. И. Деев // Итоги науки и техники. Биофизика. – 1992. – Т. 29. – С. 3-250.

16. Возможности применения принципов химической кинетики для оценки качества пищевых продуктов при хранении / Ю. Г. Базарнова [и др.] // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2004. – № 11. – С. 33–36.

17. Войтович, В. Н. Перспективы использования физических факторов в сельском хозяйстве. – М. : Агроэкоинформ, 1995. – 130 с.

18. Воскресенская, О. Л. Изменение активности окислительно-восстановительных ферментов в процессе онтогенеза травянистых растений / О. Л. Воскресенская, М. Г. Половникова // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2008. - № 1(10). – С. 96-102.

19. Выродов, И. П. Способы прогнозирования сроков годности пищевых продуктов / И. П. Выродов // Известия ВУЗов. Пищевая технология. – 1998. – № 56. – С. 87–88.

20. Гадлукова, Э. У. Исследование процессов накопления афлатоксина В1 в орехах и семенах масличных культур при различных условиях хранения / Э. У. Гадлукова, Б. О. Манджиева // Актуальные проблемы реализации ФГОС в обучении химии. Материалы II межрегион. науч.-практ. конференции. – 2015. – С. 52-57.

21. Галкин, Ю. А. Разработка плазменных электромагнитных устройств для увеличения сроков хранения плодовоовощной продукции / Ю. А. Галкин // Отчет ГНУ ВИЭСХ. – 2011. – 132 с.

22. Галкин, Ю. А. Электромагнитное воздействие плазмы разряда на томаты с целью увеличения сроков их лёжкости / Ю. А. Галкин, А. Н. Васильев // Отчет ГНУ ВИЭСХ. – 2010. – 243 с.

23. Голубкина, Н. А. Грецкие орехи как источник эссенциального микроэлемента селена / Н. А. Голубкина, М. В. Капитальчук, И. П. Капитальчук // Вопросы питания. – 2009. – т. 78. – № 6. – С. 73-77.

24. ГОСТ 10845-98. Зерно и продукты его переработки. Метод определения крахмала. – Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1998.

25. ГОСТ 16833-2014 (UNECE STANDARD DDP-02:2001). Ядро грецкого ореха. Технические условия. – М. : Стандартинформ, 2016.

26. ГОСТ 18848-73. Масла растительные. Показатели качества. Термины и определения.

27. ГОСТ 24556-89. Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения витамина С. – М. : ИПК Издательство стандартов, 1990.

28. ГОСТ 30417-96. Масла растительные. Методы определения массовых долей витаминов А и Е. – Минск : Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1996.

29. ГОСТ 30418-96. Масла растительные. Метод определения жирнокислотного состава. – Минск : Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1996.

30. ГОСТ 32195-2013 (ISO 13903:2005) Корма, комбикорма. Метод определения содержания аминокислот. – М. : Стандартинформ, 2014.

31. ГОСТ 31663-2012. Масла растительные и жиры животные. Определение методом газовой хроматографии массовой доли метиловых эфиров жирных кислот. – М. : Стандартинформ, 2013.

32. ГОСТ 31664-2012. Масла растительные и жиры животные. Метод определения состава жирных кислот в положении 2 в молекулах триглицеридов. – М. : Стандартинформ, 2013.

33. ГОСТ 31665-2012. Масла растительные и жиры животные. Получение метиловых эфиров жирных кислот. – М. : Стандартинформ, 2013.

34. ГОСТ 31754-2012. Масла растительные, жиры животные и продукты их переработки. Методы определения массовой доли трансизомеров жирных кислот. – М. : Стандартинформ, 2014.

35. ГОСТ 31756-2012. Жиры и масла животные и растительные. Определение анизидинового числа. – М. : Стандартинформ, 2014.

36. ГОСТ 31758-2012. Жиры и масла животные и растительные. Определение устойчивости к окислению (ускоренное испытание на окисление). – М. : Стандартинформ, 2014.

37. ГОСТ 31902-2012. Изделия кондитерские. Методы определения массовой доли жира. – М. : Стандартинформ, 2014.

38. ГОСТ 31933-2012. Масла растительные. Методы определения кислотного числа. – М. : Стандартинформ, 2014.

39. ГОСТ 32874-2014 (UNECE STANDARD DDP-01:2013). Орехи грецкие. Технические условия. – М. : Стандартинформ, 2015.

40. ГОСТ 33441-2015. Масла растительные. Определение показателей качества и безопасности методом спектроскопии в ближней инфракрасной области. – М.: Стандартинформ, 2016.

41. ГОСТ 33504-2015. Добавки пищевые. Дигидрокверцетин. Технические условия. – М.: Стандартинформ, 2016.

42. ГОСТ ISO 16931-2014. Жиры и масла животные и растительные. Определение содержания полимеризованных триацилглицеринов методом высокоэффективной эксклюзионной хроматографии (ВЭЭХ). – М.: Стандартинформ, 2016.

43. ГОСТ ISO 3960-2013. Жиры и масла животные и растительные. Определение перекисного числа. Йодометрическое (визуальное) определение по конечной точке. – М.: Стандартинформ, 2014.

44. ГОСТ Р 50206-92. Жиры и масла животные и растительные. Определение бутилоксианизола (БОА) и бутилокситолуола (БОТ) методом газожидкостной хроматографии. – М. : Госстандарт России, 1994.

45. ГОСТ Р 51481-99. Жиры и масла животные и растительные. Метод определения устойчивости к окислению (метод ускоренного окисления). – М. : Госстандарт России, 1999.

46. ГОСТ Р 51487-99. Масла растительные и жиры животные. Метод определения перекисного числа. – М. : Стандартинформ, 2008.

47. ГОСТ 10846-91 Зерно и продукты его переработки. Метод определения белка. – М. : Стандартинформ, 2009.

48. ГОСТ Р ИСО 3961-2010. Жиры и масла животные и растительные. Определение йодного числа. – М. : Стандартинформ, 2012.

49. ГОСТ Р ИСО 5507-2012. Семена масличных культур, растительные масла и жиры. Номенклатура. – М. : Стандартинформ, 2012.

50. ГОСТ Р ИСО 5508-2010. Животные и растительные жиры и масла. Определение метиловых эфиров жирных кислот (FAME) газовой хроматографией. – М. : Стандартинформ, 2012.

51. Данилов В. Магнитное поле и урожайность картофеля / В. Данилов [и др.] // Сельское хозяйство Узбекистана. – 1985. – № 6. – С. 33-34.

52. Державина, Н. А. Целительный грецкий орех / Н.А. Державина. – СПб. : Респекс, 2000. – 204 с.

53. Докучаев, В. И. Теоретическое исследование и интерпретация некоторых вопросов, связанных с движением электромагнитной энергии, на основе теории относительности : дис. … учен. степ. канд. физ.-мат. наук / В. И. Докучаев. – М. : – 1970. – 160 с.

54. Дорохов, Г. П. Перспективы применения ЭМП в растениеводстве / Г. П. Дорохов. – Алма-Ата : КазНИИНТИ, 1984. – 75 с.

55. Дрофичева, Н. В. Орех грецкий – источник биологически активных веществ для производства функциональных продуктов питания / Н. В. Дрофичева, Т. Г. Причко // Роль отрасли плодоводства в обеспечении продовольственной безопасности и устойчивого экономического роста. Материалы Междун. науч. конференции. – 2011. – С. 268-273.

56. Дударева Л. В. Влияние низкоинтенсивного лазерного излучения на процессы роста и развития в растительной ткани : автореф. дис. … учен. степ. канд. биол. наук : 03.00.12 / Дударева Любовь Виссарионовна. – Иркутск, 2004. – 27 с.

57. Дудин, Г. П. Применение низкоэнергетических физических факторов в биологии и сельском хозяйстве / Г. П. Дудин // Вест. с-х науки. – 1990. – № 2. – С.167-169.

58. Дунаев, А. В. Дигидрокверцетин в молочной промышленности / А. В. Дунаев // Переработка молока. – 2013. – № 10 (169). – С. 16-17.

59. Егорова, Е. Ю. Пищевая ценность кедровых орехов Дальнего Востока / Е. Ю. Егорова, В. М. Позняковский // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 2010. – № 4. – С. 21-24.

60. Елисеева, Л. Г. Влияние факторов физической природы на сохранность корнеплодов свеклы / Л. Г. Елисеева [и др.] // Хранение и переработка сельхозсырья. –1998. – № 8. – С. 17-19.

61. Елисеева, Л. Г. Влияние физических факторов на молекулярные ассоциаты в клеточном соке столовой свеклы Beta vulgaries / Л. Г. Елисеева, Д. С. Лычников, С. А. Крылова // Хранение и переработка сельхозсырья. – 1999. – № 9.

62. Елисеева, Л. Г. Изучение механизма влияния электрического поля на корнеплоды столовой свеклы с целью улучшения их лежкоспособности / Л. Г. Елисеева, Д. С. Лычников, С. А. Крылова // Тез. докл. науч. практ. конф. МГУПП. – М. – 2000.

63. Елисеева, Л. Г. Применение биологических препаратов и физических факторов в качестве корректоров физиологического статуса растительных объектов / Л. Г. Елисеева // Натуральные биокорректоры: питание, здоровье, экология. 3-й Межд. симпоз. М.: Пищепромиздад. – 2000.

64. Еникеева, Р. А. Исследование по фармакогностическому изучению и стандартизации сырья и препаратов ореха грецкого (*Juglans regia* L.) : автореф. дисс. … учен. степ. канд. фармац. наук : 15.00.02 / Еникеева Римма Айратовна. – М., 2008. – 163 с.

65. Ефименкова, Д. А. Влияние дигидрокверцетина на показатели свежести рыбы / Д. А. Ефименкова // Вопросы нормативно-правового регулирования в ветеринарии. – 2011. – № 1. – С. 80-81.

66. Ефименкова, Д. А. Эффективные способы продления сроков хранения охлажденной форели / Д. А. Ефименкова, В. Г. Урбан // Иппология и ветеринария. – 2011. – № 2. – С. 119-122.

67. Завалий, А. А. Инфракрасная сушка плодов и овощей / А. А. Завалий, И. В. Янович // Научные труды Южного филиала Национального университета биоресурсов и природопользования Украины «Крымский агротехнологический университет». Серия : Сельскохозяйственные науки. – 2011. – № 137. – С. 190-196.

68. Запрометов, М. Н. Фенольные соединения. Распространение, метаболизм и их функции в растениях / М. Н. Запрометов. – М. : Наука, 1993. – 272 с.

69. Злобина, И. В. Применение СВЧ-обработки в приготовлении мясных кулинарных изделий с использованием белков растительного происхождения / И. В. Злобина, С. А. Дунаев // Вопросы электротехнологии. – 2014. – № 2(3). – С. 37.

70. Калинин, Л. Г. Влияние низкочастотного и высокочастотного электромагнитного поля на семена / Л. Г. Калинин [и др.] // Биофизика. – 2005. – т. 50. – № 2. – С. 361-366.

71. Калиниченко, А. А. Способ экспрессного определения отдельных показателей качества масла грецкого ореха по сигналам анализатора «Электронный нос» / А. А. Калиниченко [и др.] // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2014. – № 1 (59). – С. 153-159.

72. Камзолова, О. И. Химический состав ядра грецкого ореха в Беларуси / О. И. Камзолова, С. Л. Липская, В. А. Борисевич // Садоводство и виноградарство. – 2006. – № 3. – С. 22.

73. Касьянов, Г. И. Обработка сельскохозяйственного сырья электромагнитным полем низкой частоты / Г. И. Касьянов [и др.] // Теория и практика. – СПб. : Проспект науки. – 2016. – 237 с.

74. Касьянов, Г. И. Обработка сельскохозяйственного сырья электромагнитным полем низкой частоты. Теория и практика / Г. И. Касьянов [и др.] // Проспект науки. – 2016. – 237 с.

75. Катусов, Д. Н. Перспективы использования электростатического поля при производстве продуктов питания / Д. Н. Катусов, Э. А. Алимова // Современные проблемы техники и технологии пищевых производств: Сборник статей и докладов пятнадцатой междун. науч.-практ. конференции. – Барнаул, 2013. – С. 64-69.

76. Кения, М. В. Роль низкомолекулярных антиоксидантов при окислительном стрессе / М. В. Кения, А. И. Лукаш, Е. П. Гуськов // Успехи соврем. биологии. – 1993. – т. 113. – С. 456-470.

77. Климова, Е. В. Экспресс-мониторинг процесса окисления липидов в ядрах орехов, хранящихся в контролируемых условиях, с помощью электронного носа и методом твердофазной микроэкстракции в сочетании с газовой хроматографией / Е. В. Климова // Пищевая и перерабатывающая промышленность. Реферативный журнал. – 2009. – № 4. – С. 942.

78. Кожевникова, А. М. Йодное число и коэффициент рефракции как показатели качества масла ореха фундука при хранении / А. М. Кожевникова, О. Г. Белоус // Научные исследования в субтропиках России. – Сочи. – 2013. – С. 217-225.

79. Кожевникова, А. М. Лесной орех (фундук) как ингредиент в питании будущих олимпийских чемпионов / А. М. Кожевникова // Sochi Journal of Economy. – 2012. – № 1. – С. 161-163.

80. Комаров, А. С. Обоснование применения натурального антиоксиданта дигидрокверцетина в технологии мясных изделий / А. С. Комаров, А. А. Лукин // Современное бизнес-пространство: актуальные проблемы и перспективы. – 2014. – № 2 (3). – С. 167-169.

81. Кондратьев, Н. Б. Дигидрокверцетин в производстве кондитерских изделий / Н. Б. Кондратьев [и др.] // Кондитерское производство. – 2007. – № 5. – С. 8-9.

82. Константинова, О. В. Химический состав ядра кедрового ореха и продуктов его переработки / О. В. Константинова, А. Б. Рафальсон, С. Н. Криштофович // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института жиров. – 2011. – № 1. – С. 16-17.

83. Конторина, И. С. Технология предпосевной обработки семян сельскохозяйственных культур импульсным электрическим полем / И. С. Конторина, Е. И. Рубцова // Научное сообщество студентов XXI столетия. – 2005. – 85 с.

84. Кузнецов, А. Л. Совершенствование технологии консервирования плодоовощной продукции с использованием электростатического поля : дис. … учен. степ. канд. техн. наук : 05.18.01 / Кузнецов Александр Львович. – М., 2017. – 154 с.

85. Кузнецов, А. Л. Совершенствование технологии консервирования плодоовощной продукции с использованием электростатического поля : дис. … учен. степ. канд. техн. наук : 06.07.2017 / Кузнецов Александр Львович. – М., 2017. – 154 с.

86. Кутис, С Д. Электромагнитные технологии в растениеводстве / С. Д. Кутис, Т. Л. Кутис. – Ridero, 2017.

87. Мандро, Н. М. Разработка технологии мясных фаршей с применением натурального антиоксиданта / Н. М. Мандро, А. В. Борозда, Ю. Ю. Денисович // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2009. – № 5 (55). – С. 72-75.

88. Мартовшук, В. И. Влияние технологии обжарки на качество ядер орехов фундука / В. И. Мартовщук [и др.] // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 2016. – № 1 (349). – С. 50-53.

89. Махно, В. Г. Биохимический состав ореха фундука при хранении в естественных условиях / В. Г. Махно, В. Н. Бехтерев, А. М. Кожевникова // Садоводство и виноградарство. – 2013. – № 4. – С. 32-34.

90. МР 2.3.1.2432-08. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации : методические рекомендации. – Введ. 2008-02-18. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. – 38 с.

91. МУК 4.2.1847-04. Санитарно-эпидемиологическая оценка обоснования сроков годности и условий хранения пищевых продуктов : методические указания. – 2014. – 31 с.

92. Муратов, В. А. Липиды современных сортов фундука / В. А. Муратов [и др.] // Известия вузов. Пищевая технология. – 2007. – № 4. – С. 50-52.

93. Обжаренные в меду орехи арахис и жареные орехи арахис из Аргентины: сенсорный и химический анализ // Химия и технология пищевых продуктов. – 2006. – № 15. – С. 12–14.

94. Обработка сельскохозяйственного сырья электромагнитным полем низкой частоты. Теория и практика / Г. И. Касьянов [и др.] // Проспект науки. – 2016. – 237 с.

95. Орлова, О. Ю. Современные аспекты использования плодов грецкого ореха в технологии пищевых продуктов функционального назначения / О. Ю. Орлова [и др.] // Современные аспекты использования возобновляемых природных ресурсов в технологии пищевых продуктов функционального и специализированного назначения: Коллективная монография. – СПб. : Изд-во «ЛЕМА», 2012. – 254 с.

96. Павлов, А. Н. Электромагнитные поля и жизнедеятельность // Учебное пособие. – М.: Изд-во МНЕПУ, 1998. – 148 с.

97. Паньковский, Г. А. Обоснование методики расчета прогнозируемых сроков хранения растительных масел / Г. А. Паньковский // Пищевая и перерабатывающая промышленность. Реферативный журнал. – 2004. – № 1. – С. 350.

98. Пат. 2101842 Российская Федерация. Способ обработки субстрата в поле магнитного векторного потенциала и устройство для его осуществления / Вернер, К.; заявитель и патентообладатель Вернер Кропп [DE]; заявл. 19.11.90; опубл. 10.01.98.

99. Пат. 2101973 Российская Федерация, МКИ6 А 23 Д 9/00. Масложировой продукт, имеющий антиоксидантные свойства / Е. А. Бутина [и др.] : заявитель и патентообладатель УНПФ «Липиды». – № 96108721; заявл. 26.04.1996; опубл. 20.01.1998.

100. Плеханов, Г. Ф. Основные закономерности низкочастотной электромагнитобиологии / Г. Ф. Плеханов. – Томск : Изд-во Томск. ун-та, 1990. – 188 с.

101. Плеханов, Г. Ф. Экологическая роль внешних электромагнитных полей / Г. Ф. Плеханов // Проблемы солнечно-земных связей. – Новосибирск, 1982. – С.10-16.

102. Половникова, М. Г. Активность компонентов антиоксидантной защиты и полифенолоксидазы у газонных растений в онтогенезе в условиях городской среды / М. Г. Половникова, О. Л. Воскресенская // Физиология растений. – 2008. – № 5. – С.777-785.

103. Применение дигидрокверцетина для увеличения срока годности молока. – Молочная промышленность. – 2012. – № 4. – С. 48-49.

104. Применение метода ускоренного старения для определения срока годности масла подсолнечного рафинированного дезодорированного / А. А. Родникова [и др.] // Кондитерское производство. – 2014. - № 2. – С. 30–32.

105. Прогнозирование сроков хранения продовольственных товаров на основе экспериментов, выполненных при повышенных температурах (ч. 1) / Ю. И. Сидоренко [и др.] // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2013. – № 3. – С. 27–32.

106. Прогнозирование сроков хранения продовольственных товаров на основе экспериментов, выполненных при повышенных температурах (ч. 2) / Ю. И. Сидоренко [и др.] // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2013. – № 4. – С. 30–33.

107. Радаева, И. А. Новый межгосударственный стандарт на антиокислитель дигидрокверцетин / И. А. Радаева [и др.] // Молочная промышленность. – 2016. – № 4. – С. 57-59.

108. Рашидов, М. Т. Разработка метода электрохимического воздействия на молочную сыворотку для интенсификации процесса брожения в технологии спирта : дис. … учен. степ. канд. тех. наук : 05.18.07 / Рашидов Михаил Теймуразович. – М., 2003. – 134 с.

109. Решетова, Р. С. Применение электромагнитного поля в свеклосахарном производстве / Р. С. Решетова, М. Г. Барышев. – Краснодар: КубГТУ, 2002. – 147 с.

110. Рзянина, А. В. Эффекты воздействия переменного магнитного поля на характеристики жизнедеятельности биообъектов : автореф. дис. … учен. степ. канд. физ.-мат. наук : 03.01.02 / Рзянина Анна Владимировна. – Саратов, 2010. – 24 с.

111. Ризиченко, Г. Ю. Модель отклика мембранной транспортной системы на переменное электрическое поле / Г. Ю. Ризиченко [и др.] // Биофизика. – 1993. – т. 38. – вып. 4. – С. 667-671.

112. Рогожин, В. В. Исследование физико-химических свойств дигидрокверцетина / В. В. Рогожин, Д. В. Перетолчин, Т. В. Рогожина // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. – 2012. – т. 2. – № 1. – С. 68-74.

113. Родина, Т. Г. Сенсорный анализ продовольственных товаров : Учебник для студентов высших учебных заведений / Т. Г. Родина. – М.: Издательский центр «Академия», 2003. – 116 с.

114. Роздова, В. Ф. Пищевые добавки с антиокислительным действием для увеличения сроков годности плавленых сыров / В. Ф. Роздова, Т. А. Кулаков, Н. Н. Ожгихина // Сыроделие и маслоделие. – 2009. – № 4. – С. 20-22.

115. Рубцова, Е. И. Применение импульсного электрического поля для предпосевной стимуляции семян сои / Е. И. Рубцова, В. И. Хайновский, Г. П. Стародубцева // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2008. – № 7. – С. 9-11.

116. Рубцова, Е. И. Влияние импульсного электрического поля на энергию прорастания семян сои / Е. И. Рубцова, А. Г. Хныкина // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2009. – № 12. – С. 26-27.

117. Саввин, А. В. Антиоксидант – дигидрокверцетин / А. В. Саввин // Молочная промышленность. – 2006. – № 9. – С. 64.

118. Сванидзе, С. С. Влияние электрического тока на поражаемость клубней картофеля фузариозной гнилью / С. С. Сванидзе // Тез. докл. на 3-ей Всес. конф. по применению элктронноионных технологий в народном хозяйстве. – Тбилиси, 1981. – С. 197-198.

119. Сергиенко, М. А. Интенсификация процессов производства солода и пивного сусла на основе применения электромагнитного поля / М. А. Сергиенко, В. Т. Христюк // Техника и технология пищевых производств. Сб. матер. VI междун. науч. конференции студентов и аспирантов. – Могилев, 2008. – С. 16–17.

120. Сесикашвили, О. Ш. Орехи. Свойства. Переработка. Использование / О. Ш. Сесикашвили, С. В. Зверев, И. О. Берулава. – Кутаиси : Издательство государственного университета Акакия Церетели, 2014. – 243 с.

121. Сидоренко, Т. А. Дигидрокверцетин в производстве кондитерских изделий [Антиоксидант для кондитерских жиров] / Т. А. Сидоренко // Пищевая и перерабатывающая промышленность. Реферативный журнал. – 2009. – № 1. – С. 90.

122. Сидоренко, Т. А. Динамика токоферолов в жмыхе и масле кедрового ореха в процессе хранения / Т. А. Сидоренко // Пищевая и перерабатывающая промышленность. – 2010. – № 2. – С. 573.

123. Скокан, Л. Е. Орехи и арахис для кондитерских изделий длительного хранения / Л. Е. Скокан // Кондитерское производство. – 2003. – № 1. – С. 46-47.

124. Сорокопудов, В. Н. Жирнокислотный состав семян отборных форм ореха грецкого (*Juglans regia* l.), интродуцированного в Белгородской области / В. Н. Сорокопудов [и др.] //

Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Медицина. Фармация. – 2011. – т. 13. – № 4-2 (99). – С. 174-177.

125. Стародубцева, Г. П. Разработка способа предпосевной обработки семян сельскохозяйственных культур импульсным электрическим полем (ИЭП) и экономическое обоснование его использования / Г. П. Стародубцева [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Куб ГАУ. – 2012. – № 75 (01). – С. 1037-1051.

126. Страхова, С. А. Влияние состава, зрелости и режима хранения на качество грецкого ореха : дис. … учен. степ. канд. техн. наук / С. А. Страхова. – М., 1966. – 157 с.

127. Суховский, Н. А. Влияние электростатического поля на клетку хлореллы / Н. А. Суховский, А. А. Богданова // Инновационные разработки молодых ученых – развитию агропромышленного комплекса. Материалы II международной конференции. – Ставрополь : ГНУ СНИИЖК. – 2013. – С. 100.

128. Сухоруких, Ю. И. Оптимизация оценки качества плодов ореха грецкого / Ю. И. Сухоруких, С. Г. Биганова // Майкопский государственный технологический институт. – Майкоп. – 2003.

129. ТР ТС 022/2011. Технический регламент Таможенного союза. Пищевая продукция в части ее маркировки : Решение Комиссии Таможенного союза от 09.12.2011 № 881 [Электронный ресурс] // СПС «КонсультантПлюс».

130. ТР ТС 024/2011. Технический регламент Таможенного союза. Технический регламент на масложировую продукцию : Решение Комиссии Таможенного союза от 09.12.2011 № 883 [Электронный ресурс] // СПС «КонсультантПлюс».

131. ТР ТС 029/2012. Технический регламент Таможенного союза. Требования безопасности пищевых добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств : Решение Совета Евразийской экономической комиссии от 20.07.12 № 58 [Электронный ресурс] // СПС «КонсультантПлюс».

132. Трифонова, М. Ф. Физические факторы в растениеводстве / М. Ф. Трифонова, О. В. Бляндур. – М. : Колос, 1998. – 352 с.

133. Тхагушев, Н. А. Орехоплодные культуры / Н. А. Тхагушев. – Майкоп : Адыг. респ. кн. изд-во, 2003. – 320 с.

134. Узун, Л. Н. Использование ЭМП для обработки плодово-ягодного сырья / Л. Н. Узун, В. Т. Христюк, М. Г. Барышев // Научные основы процессов, аппаратов и машин пищевых производств. Сб. матер. Междун. науч.-практ. конференции. – Краснодар, 2002. – С. 187–188.

135. Фирсов, В. Ф. Влияние электрического поля коронного разряда на физиолого-биохимические особенности растений / В. Ф. Фирсов // Регуляция роста и развития с-х культур физическими факторами: Сб.науч. тр. – Алма-Ата, 1983. – С. 47-52.

136. Хайновский, В. И. Применение импульсного электрического поля для предпосевной стимуляции семян / В. И. Хайновский, Г. П. Стародубцева, Е. И. Рубцова // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2008. – № 7. – С. 9-11.

137. Христюк, В. Т. Брожение виноградного сусла и мезги после обработки ЭМП КНЧ диапазона / В. Т. Христюк, Л. Н. Узун, М. Г. Барышев // Изв. вузов. Пищ. технол. – 2002. – № 5. – С. 43–44.

138. Христюк, В. Т. Влияние низкочастотного электромагнитного поля на рост и качество солода пивоваренного ячменя / В. Т. Христюк // Доклады российской академии сельскохозяйственных наук. – 2009. – № 6. – С. 56–58.

139. Христюк, В. Т. Совершенствование технологии вин и напитков с применением способов электрофизической и сорбционной обработки: монография / В. Т. Христюк // Под ред. засл. деятеля науки РФ, засл. изобретателя РФ, д.т.н., профессора Касьянова Г. И. – Краснодар: Экоинвест, – 2012. – 324 с.

140. Христюк, В. Т. Современные способы электрофизического воздействия на биосистемы, пищевое сырье и жидкие пищевые среды / В. Т. Христюк. – Краснодар, 2008. – 32 с.

141. Чернетский, А. В. О возможном механизме структурирования физического вакуума / А. В. Чернетский. – М. – 1989. – 76 с.

142. Чернетский, А. В. Об энергетическом подходе к природе компенсации сил / А. В. Чернетский. – М. – 1989. – 91 с.

143. Чернетский, А. В. Плазменные системы с разделением электрических зарядов / А. В. Чернетский. – М. – 1983. – 87 с.

144. Чернетский, А. В. Самогенерирующие разряды. Теория электрической дуги в условиях вынужденного теплообмена / А. В. Чернетский, Д. С. Лычников. – Новосибирск. – 1977. – 135 с.

145. Чернетский, А. В. Системы с разделением электрических зарядов и биоэнергетика / А. В. Чернетский // Вопросы медицинской электроники. – 1981. – № 8. – С. 27–31.

146. Чернетский, А. В. Энергетика биоэлектронных процессов. Методы рефлекторной диагностики, терапии и реабилитации для совершенствования оздоровительной работы в угольной промышленности / А. В. Чернетский. – М. : – 1981. – 243 с.

147. Шакун, М. М. Изменение химического состава виноматериалов в результате обработки электромагнитным полем / М. М. Шакун, Л. Н. Узун, В. Т. Христюк // Пища. Экология. Качество. Материалы V Межд. науч.-практич. конф. – Новосибирск, 2008. – С. 154–155.

148. Aceña, L. Determination of Roasted Pistachio (*Pistacia vera* L.) Key Odorants by Headspace Solid-Phase Microextraction and Gas Chromatography−Olfactometry / L. Aceña [et al.] // J. Agric. Food Chem. – 2011. – Vol. 59, № 6. – P. 2518–2523.

149. Agila, A. Effect of Roasting Conditions on Color and Volatile Profile Including HMF Level in Sweet Almonds (*Prunus dulcis*). / A. Agila, S. Barringer // Journal of Food Science. – 2012. – Vol. 77, № 4. – P. C461–C468.

150. Alasalvar, C. Comparison of Natural and Roasted Turkish Tombul Hazelnut (*Corylus avellana* L.) Volatiles and Flavor by DHA/GC/MS and Descriptive Sensory Analysis / C. Alasalvar, F. Shahidi, K. R. Cadwallader // J. Agric. Food Chem. – 2000. – Vol. 51, № 17. – P. 5067–5072.

151. Alasalvar, C. Comparison of Natural and Roasted Turkish Tombul Hazelnut (*Corylus avellana* L.) Volatiles and Flavor by DHA/GC/MS and Descriptive Sensory Analysis / C. Alasalvar, F. Shahidi, K. R. Cadwallader // J. Agric. Food Chem. – 2003. – Vol. 51, № 17. – P. 5067–5072.

152. Alasalvar, C. Functional Lipid Characteristics of Turkish Tombul Hazelnut (*Corylus avellana* L.) / C. Alasalvar, J. S. Amaral, F. Shahidi // J. Agric. Food Chem. – 2006. – Vol. 54, № 26. – P. 10177–10183.

153. Alasalvar, C. Liyanapathirana and Toshiaki Ohshima. Turkish Tombul Hazelnut (*Corylus avellana* L.). 1. Compositional Characteristics / C. Alasalvar, F. Shahidi, M. Chandrika // J. Agric. Food Chem. – 2003. – Vol. 51, № 13. – P. 3790–3796.

154. Alasalvar, C. Turkish Tombul Hazelnut (*Corylus avellana* L.). Compositional Characteristics / C. Alasalvar [et al.] // J. Agric. Food Chem. – 2003. – Vol. 51, № 13. – P. 3790–3796.

155. Alasalvar, C. Turkish Tombul Hazelnut (*Corylus avellana* L.). Lipid Characteristics and Oxidative Stability / C. Alasalvar [et al.] // J. Agric. Food Chem. – 2003. – Vol. 51, № 13. – P. 3797–3805.

156. Alasalvar, C. Using Predictive Models for the Shelf-Life and Safety of Seafood / C. Alasalvar [et al.] // Handbook of Seafood Quality, Safety and Health Applications. – 2010. – P. 206–216.

157. Álvarez, I. Changes in the Fatty Acid Composition of M. longissimus dorsi of Lamb during Storage in a High-Oxygen Modified Atmosphere at Different Levels of Dietary Vitamin E Supplementation / I. Álvarez [et al.] // J. Agric. Food Chem. – 2009. – Vol. 57, № 1. – P. 140–146.

158. Amaral, J. S. Influence of Cultivar and Environmental Conditions on the Triacylglycerol Profile of Hazelnut (*Corylus avellana* L.) / J. S. Amaral [et al.] // J. Agric. Food Chem. – 2006. – Vol. 54, № 2. – P. 449–456.

159. Amaral, J. S. Determination of Sterol and Fatty Acid Compositions, Oxidative Stability, and Nutritional Value of Six Walnut (*Juglans regia* L.) Cultivars Grown in Portugal / J. S. Amaral [et al.] // J. Agric. Food Chem. – 2003. – Vol. 51, № 26. – P. 7698–7702.

160. Amaral, J. S. Vitamin E Composition of Walnuts (*Juglans regia* L.): A 3-Year Comparative Study of Different Cultivars / J. S. Amaral [et al.] // J. Agric. Food Chem. – 2005. – Vol. 53, № 13. – P. 5467–5472.

161. Anjum, S. Antioxidant and Antiproliferative Activity of Walnut Extract (*Juglans regia* L.) Processed by Different Methods and Identification of Compounds Using GC/MS and LC/MS Technique / S. Anjum [et al.] // Journal of Food Processing and Preservation. – 2016.

162. Azeredo, H. M. C. The Efficiency of TBHQ, β-carotene, Citric Acid, and Tinuvin 234® on the Sensory Stability of Soybean Oil Packaged in PET Bottles / H. M. C. de Azeredo, J. A. F. Faria, M. A. A. P. da Silva // Journal of Food Science. – 2003. – Vol. 68, № 1. – P. 302–306.

163. Aarholt, E. Effects of low-frequency magnetic fields on bacterial grouth rate / E. Aarholt, E. A. Flinn, S. W. Smith // Phys. med. and Biol. – 1981. – Vol. 26, № 4. – P. 613-621.

164. Baeten, V. Oil and Fat Classification by FT-Raman Spectroscopy / V. Baeten [et al.] // J. Agric. Food Chem. – 1998. – Vol. 46, № 7. – P. 2638–2646.

165. Bail, S. Characterization of volatile compounds and triacylglycerol profiles of nut oils using SPME-GC-MS and MALDI-TOF-MS / S. Bail [et al.] // European Journal of Lipid Science and Technology. – 2009. – Vol. 111, № 2. – P. 170–182.

166. Barishev, M. G. The Influence of Low Frequency Electromagnetic Field (LF EMF) on the Agricultural Crops Seeds Germination / M. G. Barishev [et al.] // Journal of Agricultural Science and Technology. – 2012. – Vol. 2, № 3. – P. 385-390.

167. Belitz, H. D. Food Chemistry / H. D. Belitz, W. Grosch, P. Schieberle. – 2009. – P. 339.

168. Bhattacharjee, P. Compositional profiles of γ-irradiated cashew nuts / P. Bhattacharjee // Food Chemistry. – 2003. – Vol. 80, № 2. – P. 159–163.

169. Bovelli, R. Stimulation of germination, callus growth and» shoot regeneration of *Nicotiana tabacum* L.by Pulsing Electromagnetic Fields (PEMF) / R. Bovelli, A. Bennici // Adv. Hort. Sci. – 2000. – Vol. 14. – P. 3-6.

170. Budilarto, E. S. Stabilization of cod liver oil with a quaternary combination of α-tocopherol and synergists: Method of assessment / E. S. Budilarto, A. Kamal-Eldin // European Journal of Lipid Science and Technology. – 2015. – Vol. 117, № 10. – P. 1598–1606.

171. Burdack-Freitag, A. Characterization of the Key Odorants in Raw Italian Hazelnuts (*Corylus avellana* L. var. Tonda Romana) and Roasted Hazelnut Paste by Means of Molecular Sensory Science / A. Burdack-Freitag, P. Schieberle // J. Agric. Food Chem. – 2012. – Vol. 60, № 20. – P. 5057–5064.

172. Çağlarirmak, N. Nutrients and biochemistry of nuts in different consumption types in Turkey / N. Çağlarirmak, A. C. Batkan // Journal of Food Processing and Preservation. – 2005. – Vol. 29, № 5-6. – P. 407–423.

173. Çağlarirmakand, N. Nutrients and biochemistry of nuts in different consumption types in Turkey / N. Çağlarirmakand, A. C. Batkan // Journal of Food Processing and Preservation. –2005. – Vol. 29, № 5-6. – P. 407–423.

174. Casini, C. Oil Quality and Sugar Content of Peanuts (*Arachis hypogaea*) Grown in Argentina: Their Relationship with Climatic Variables and Seed Yield / C. Casini [et al.] // J. Agric. Food Chem. – 2003. – Vol. 51, № 21. – P. 6309–6313.

175. Chaiyasit, W. The Relationship between the Physicochemical Properties of Antioxidants and Their Ability to Inhibit Lipid Oxidation in Bulk Oil and Oil-in-Water Emulsions / W. Chaiyasit, D. J. McClements, E. A. Decker // J. Agric. Food Chem. – 2005. – Vol. 53, № 12. – P. 4982–4988.

176. Chandrasekara, N. Effect of Roasting on Phenolic Content and Antioxidant Activities of Whole Cashew Nuts, Kernels, and Testa / N. Chandrasekara, F. Shahidi // J. Agric. Food Chem. – 2011. – Vol. 59, № 9. – P. 5006–5014.

177. Chen, B. Physical Structures in Soybean Oil and Their Impact on Lipid Oxidation / B. Chen [et al.] // J. Agric. Food Chem. – 2010. – Vol. 58, № 22. – P. 11993–11999.

178. Chen, X. Antioxidant activities of six natural phenolics against lipid oxidation induced by Fe2+ or ultraviolet light / X. Chen, D. U. Ahn // Journal of the American Oil Chemists' Society. – 1998. – Vol. 75. – P. 1717.

179. Chen, X. Antioxidant effects of rosemary extracts on sunflower oil compared with synthetic antioxidants / X. Chen [et al.] // International Journal of Food Science & Technology. – 2014. – Vol. 49, № 2. – P. 385–391.

180. Chetschik, I. Quantitation of Key Peanut Aroma Compounds in Raw Peanuts and Pan-Roasted Peanut Meal. Aroma Reconstitution and Comparison with Commercial Peanut Products / I. Chetschik, M. Granvog, P. Schieberle // J. Agric. Food Chem. – 2010. – Vol. 58, № 20. – P.11018–11026.

181. Chinprahast, N. Antioxidant activities of Thai pigmented rice cultivars and application in sunflower oil / N. Chinprahast, T. Tungsomboon, P. Nagao // Journal of Food Science & Technology. – 2016. – Vol. 51, № 1. – P. 46–53.

182. Choe, E. Mechanisms and Factors for Edible Oil Oxidation / E. Choe, D. B. Min // Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. – 2006. – Vol. 5, № 4. – P. 169–186.

183. Chukwumah, Y. Changes in the Phytochemical Composition and Profile of Raw, Boiled, and Roasted Peanuts /Y. Chukwumah [et al.] // J. Agric. Food Chem. – 2007. – Vol. 55, № 22. – P. 9266–9273.

184. Chung, H. J. Relationships among Headspace Oxygen, Peroxide Value, and Conjugated Diene Content of Soybean Oil Oxidation / H. J. Chung, A. S. Colakoglum, D. B. Min // Journal of Food Science. – 2004. – Vol. 69, № 2. – P. fct83–fct88.

185. Church, I. J. Modified atmosphere packaging technology: A review / I. J. Church, A. L. Parsons // Journal of the Science of Food and Agriculture. – 1995. – Vol. 67, № 2. – P. 143–152.

186. Ciemniewska-Żytkiewicz, H. Changes of the lipid fraction during fruit development in hazelnuts (*Corylus avellana* L.) grown in Poland / H. Ciemniewska-Żytkiewicz [et al.] // European Journal of Lipid Science and Technology. – 2015. – Vol. 117, № 5. – P. 710–717.

187. Comparison of near-infrared emission spectroscopy and the Rancimat method for the determination of oxidative stability / F. B. Gonzaga [et al.] // European Journal of Lipid Science and Technology. – 2007. – Vol. 109, № 1. – P. 61–65.

188. Correddu, F. Induced Lipid Oxidation in Sheep Milk: Effects of Dietary Grape Seed and Linseed, Alone or in Combination, on Milk Oxidative Stability / F. Correddu [et al.] // J. Agric. Food Chem. – 2015. – Vol. 63, № 15. – P. 3980–3986.

189. Crews, C. Study of the Main Constituents of Some Authentic Hazelnut Oils / C. Crews [et al.] // J. Agric. Food Chem. – 2005. – Vol. 53, № 12. – P. 4843–4852.

190. Determination of Sterol and Fatty Acid Compositions, Oxidative Stability, and Nutritional Value of Six Walnut (*Juglans regia* L.) Cultivars Grown in Portugal / J. S. Amaral [et al.] // J. Agric. Food Chem. – 2003. – Vol. 51, № 26. – P. 7698–7702.

191. Dok-Go, H. Neuroprotective effects of antioxidative flavonoids, quercetin, (+)-dihydroquercetin and quercetin 3-methyl ether, isolated from Opuntia ficus-indica var. saboten / H. Dok-Go [et al.] // Brain Research. – 2003. – Vol. 965, № 1. – P. 130–136.

192. Dreher, M. L. Pistachio nuts: composition and potential health benefits / M. L. Dreher // Nutrition Reviews. – 2012. – Vol. 70, № 4. – P. 234–240.

193. El-Din, N. K. B. Concentration-dependent antioxidant activities of conjugated linoleic acid and α-tocopherol in corn oil / N. K. B. El-Din, S. T. Omaye // Journal of the Science of Food and Agriculture. – 2007. – Vol. 87, № 14. – P. 2715–2720.

194. Esche, R. Online LC-GC-Based Analysis of Minor Lipids in Various Tree Nuts and Peanuts / R. Esche, L. Müller, K. H. Engel // J. Agric. Food Chem. – 2013. – Vol. 61, № 47. – P. 11636–11644.

195. Fahlman, B. M. Inhibition of UVA and UVB Radiation-Induced Lipid Oxidation by Quercetin / B. M. Fahlman, E. S. Krol // J. Agric. Food Chem. – 2009. – Vol. 57, № 12. – P. 5301–5305.

196. Fhaner, M. Protection of fish oil from oxidation with sesamol / M. Fhaner [et al.] // European Journal of Lipid Science and Technology. – 2016. – Vol. 118, № 6. – P. 885–897.

197. Frankel, E. N. Antioxidants in lipid foods and their impact on food quality / E. N. Frankel // Food Chemistry. – 1996. – Vol. 57. – P. 51-55.

198. Frankel, E. N. Chemistry of Extra Virgin Olive Oil: Adulteration, Oxidative Stability, and Antioxidants / E. N. Frankel // J. Agric. Food Chem. – 2010. – Vol. 58, № 10. – P. 5991–6006.

199. Gamlıa, Ö. F. The effect of the different packaging and storage conditions on the quality of pistachio nut paste / Ö. F. Gamlıa, İ. Hayoğlub // Journal of Food Engineering. – 2007. – Vol. 78, - № 2. – P. 443–448.

200. Gentile, C. Antioxidant Activity of Sicilian Pistachio (*Pistacia vera* L. Var. Bronte) Nut Extract and Its Bioactive Components / C. Gentile [et al.] // J. Agric. Food Chem. – 2007. – Vol. 55, № 3. – P. 643–648.

201. Giuffrida, F. Accurate determination of hexanal in beef bouillons by headspace solid-phase microextraction gas-chromatography mass-spectrometry / F. Giuffrida [et al.] // European Journal of Lipid Science and Technology. – 2005. – Vol. 107, № 11. – P. 792–798.

202. Gliszczyńska-Świgło, A. Simple reversed-phase liquid chromatography method for determination of tocopherols in edible plant oils / A. Gliszczyńska-Świgło, E. Sikorska // Journal of Chromatography A. – 2004. – Vol. 1048, № 2. – P. 195–198.

203. Grau, A. Evaluation of Lipid Ultraviolet Absorption as a Parameter To Measure Lipid Oxidation in Dark Chicken Meat / A. Grau [et al.] // J. Agric. Food Chem. – 2000. – Vol. 48, № 9. – P. 4128–4135.

204. Greene, J. L. Characterization of Volatile Compounds Contributing to Naturally Occurring Fruity Fermented Flavor in Peanuts / J. L. Greene, T. H. Sanders, M. A. Drake // J. Agric. Food Chem. – 2008. – Vol. 56, № 17. – P. 8096–8102.

205. Grosso, A. L. Sensory Quality Preservation of Coated Walnuts / A. L. Grosso [et al.] // Journal of Food Science. – 2016. – Vol. 82, № 1. – P. 185–193.

206. Grosso, N. R. Chemical Composition of Some Wild Peanut Species (*Arachis* L.) Seeds / N. R. Grosso, V. Nepote, C. A. Guzmán // J. Agric. Food Chem. – 2000. – Vol. 48, № 3. – P. 806–809.

207. Hornero-Méndez, D. A rapid spectrophotometric method for the determination of peroxide value in food lipids with high carotenoid content / D. Hornero-Méndez, A. Pérez-Gálvez, M. I. Mínguez-Mosquera // Journal of the American Oil Chemists' Society. – 2001. – Vol. 78, № 11. – P. 1151–1155.

208. Huang, S. C. Identification of an Antioxidant, Ethyl Protocatechuate, in Peanut Seed Testa / S. C. Huang [et al.] // J. Agric. Food Chem. – 2003. – Vol. 51, № 8. – P. 2380–2383.

209. Hunt, R. W. Electromagnetic bio stimulation of living cultures for biotechnology, biofiiel and bioenergy applications / R. W. Hunt [et al.] // Jnt. J. Mol. Sci. – 2009. – Vol. 20, № 10. – P. 4515-4558.

210. Janeiro, P. Chrysin and (±)-Taxifolin Electrochemical Oxidation Mechanisms / P. Janeiro, O. Corduneanu, A. M. Oliveira // Electroanalysis. – 2005. – Vol. 17, № 12. – P. 1059–1064.

211. Jensen, P. N. Evaluation of Quality Changes in Walnut Kernels (*Juglans regia* L.) by Vis/NIR Spectroscopy / P. N. Jensen [et al.] // J. Agric. Food Chem. – 2001. – Vol. 49, № 12. – P. 5790–5796.

212. Jensen, P. N. Investigation of Packaging Systems for Shelled Walnuts Based on Oxygen Absorbers / P. N. Jensen [et al.] // J. Agric. Food Chem. – 2003. – Vol. 51, № 17. – P. 4941–4947.

213. Kavanagh, F. Official methods of analysis of the AOAC. The Association of Official Analytical Chemists / F. Kavanagh // Journal of Pharmaceutical Sciences. – 1981. – Vol. 70, № 4. – P. 468.

214. Kazantzis, I. Effect of harvest time and storage conditions on almond kernel oil and sugar composition / I. Kazantzis, G. D. Nanos, G. G. Stavroulakis // Journal of the Science of Food and Agriculture. – 2003. – Vol. 83, № 4. – P. 354–359.

215. Kiefl, J. Sensomics Analysis of Key Hazelnut Odorants (*Corylus avellana* L. 'Tonda Gentile') Using Comprehensive Two-Dimensional Gas Chromatography in Combination with Time-of-Flight Mass Spectrometry (GC×GC-TOF-MS) / J. Kiefl, G. Pollner, P. Schieberle // J. Agric. Food Chem. – 2013. – Vol. 61, № 22. – P.5226–5235.

216. Kowalczyk, D. Effect of carboxymethyl cellulose/candelilla wax coating containing ascorbic acid on quality of walnut (*Juglans regia* L.) kernels / D. Kowalczyk [et al.] // International Journal of Food Science and Technology. – 2017. – Vol. 52, № 6. – P. 1425-1431.

217. Koyuncu, M. A. Change of fat content and fatty acid composition of Turkish hazelnuts (*Corylus avellana* l.) during storage / M. A. Koyuncu. // Journal of Food Quality. – 2004. – Vol. 27, № 4. – P. 304–309.

218. Kristinová, V. Antioxidant Activity of Phenolic Acids in Lipid Oxidation Catalyzed by Different Prooxidants / V. Kristinová [et al.] // J. Agric. Food Chem. – 2009. – Vol. 57, № 21. – P. 10377–10385.

219. Kristinsson, H. G. Antioxidative strategies to minimize oxidation in formulated food systems containing fish oils and omega-3 fatty acids / H. G. Kristinsson [et al.] // Antioxidants and Functional Components in Aquatic Foods. – 2014. – P. 237–281.

220. Ku, K. L. Roasted Peanut Flavor and Related Compositional Characteristics of Peanut Kernels of Spring and Fall Crops Grown in Taiwan / K. L. Ku [et al.] // J. Agric. Food Chem. – 1998. – Vol. 46, № 8. – P. 3220–3224.

221. Laleye, L. C. Shelf Life of Vacuum- or Nitrogen-Packed Pastrami: Effects of Packaging Atmospheres, Temperature and Duration of Storage on Physicochemical and Sensory Changes / L. C. Laleye [et al.] // Journal of Food Science. – 1984. – Vol. 49, № 3. – P. 832–837.

222. Lall, R. K. A Rapid, Micro FAME Preparation Method for Vegetable Oil Fatty Acid Analysis by Gas Chromatography / R. K. Lall, A. Proctor, V. P. Jain. // Journal of the American Oil Chemists' Society. – 2009. – Vol. 86, № 4. – P. 309–314.

223. Lee, S. Y. Accelerated Shelf Life Testing of Whey-Protein-Coated Peanuts Analyzed by Static Headspace Gas Chromatography / S. Y. Lee, J. M. Krochta // J. Agric. Food Chem. – 2002. – Vol. 50, № 7. – P. 2022–2028.

224. Lee, Y. H. Synthesis of (2-amino) ethyl derivatives of quercetin 3-O-methyl ether and their antioxidant and neuroprotective effects / Y. H. Lee [et al.] // Bioorganic & Medicinal Chemistry. – 2015. – Vol. 23, № 15. – P. 4970–4979.

225. Let, M. B. Protection against Oxidation of Fish-Oil-Enriched Milk Emulsions through Addition of Rapeseed Oil or Antioxidants / M. B. Let [et al.] // J. Agric. Food Chem. – 2005. – Vol. 53, № 13. – P. 5429–5437.

226. Li, R. Fatty Acid Profiles, Tocopherol Contents, and Antioxidant Activities of Heartnut (*Juglans ailanthifolia* Var. cordiformis) and Persian Walnut (*Juglans regia* L.) / R. Li [et al.] // J. Agric. Food Chem. – 2007. – Vol. 55, № 4. – P. 1164–1169.

227. Liang, L. Dihydroquercetin (DHQ) Induced HO-1 and NQO1 Expression against Oxidative Stress through the Nrf2-Dependent Antioxidant Pathway / L. Liang [et al.] // J. Agric. Food Chem. – 2013. – Vol. 61, № 11. – P. 2755–2761.

228. Marozien, A. Inhibition of phthalocyanine-sensitized photohemolysis of human erythrocytes by polyphenolic antioxidants: description of quantitative structure–activity relationships / A. Marozien [et al.] // Cancer Letters. – 2000. – Vol. 157, № 1. – P. 39–44.

229. Martínez, L. Combined Effect of Modified Atmosphere Packaging and Addition of Rosemary (*Rosmarinus officinalis*), Ascorbic Acid, Red Beet Root (*Beta vulgaris*), and Sodium Lactate and Their Mixtures on the Stability of Fresh Pork Sausages / L. Martínez [et al.] // J. Agric. Food Chem. – 2006. – Vol. 54, № 13. – P. 4674–4680.

230. Martínez, M. L. Effect of natural and synthetic antioxidants on the oxidative stability of walnut oil under different storage conditions / M. L. Martínez [et al.] // LWT - Food Science and Technology. – 2013. – Vol. 51, № 1. – P. 44–50.

231. Masuda, T. Antioxidation Mechanism Studies of Caffeic Acid: Identification of Antioxidation Products of Methyl Caffeate from Lipid Oxidation / T. Masuda [et al.] // J. Agric. Food Chem. – 2008. – Vol. 56, № 14. – P. 5947–5952.

232. Medina, I. Comparison of Natural Polyphenol Antioxidants from Extra Virgin Olive Oil with Synthetic Antioxidants in Tuna Lipids during Thermal Oxidation / I. Medina [et al.] // J. Agric. Food Chem. – 1999. – Vol. 47, № 12. – P. 4873–4879.

233. Miraliakbari, H. Antioxidant activity of minor components of tree nut oils / H. Miraliakbari, F. Shahidi. // Food Chemistry. – 2008. – Vol. 111, № 2. – P. 421–427.

234. Miraliakbari, H. Oxidative Stability of Tree Nut Oils / H. Miraliakbari, F. Shahidi // J. Agric. Food Chem. – 2008. – Vol. 56, № 12. – P. 4751–4759.

235. Nanos, G. D. Irrigation and harvest time affect almond kernel quality and composition / G. D. Nanos [et al.] // Scientia Horticulturae. – 2002. – Vol. 96, № 6. – P. 249–256.

236. Nepote, V. Oxidative stability in fried-salted peanuts elaborated with high-oleic and regular peanuts from Argentina / V. Nepote, M. G. Mestrallet, N. R. Grosso // International Journal of Food Science & Technology. – 2006. – Vol. 41, № 8. – P. 900–909.

237. Nieva-Echevarría, B. 2,6-Di-Tert-Butyl-Hydroxytoluene and Its Metabolites in Foods / B. Nieva-Echevarría // Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. – 2015. – Vol. 14, № 1. – P. 67–80.

238. Olmedo, R. Effect of the essential oil addition on the oxidative stability of fried–salted peanuts / R. Olmedo [et al.] // International Journal of Food Science & Technology. – 2008. – Vol. 43, № 11. – P. 1935–1944.

239. Osborn-Barnes, H. T. Effects of α-Tocopherol, β-Carotene, and Soy Isoflavones on Lipid Oxidation of Structured Lipid-Based Emulsions / H. T. Osborn-Barnes, C. C. Akoh // J. Agric. Food Chem. – 2003. – Vol. 51, № 23. – P. 6856–6860.

240. Özgüven, F. Some physical, mechanical and aerodynamic properties of pine (*Pinus pinea*) nuts / F. Özgüven, K. Vursavu // Journal of Food Engineering. – 2005. – Vol. 68, № 2. – P. 191–196.

241. Pattee, E. Peanut Roast Color and Sensory Attribute Relationships. Chemistry and Physiology of Selected Food Colorants / E. Pattee [et al.] // American Chemical Society. – 2001. – Vol. 13. – P. 187–200.

242. Pattee, H. E. Sensory Attribute Variation in Low-Temperature-Stored Roasted Peanut Paste / H. E. Pattee, F. G. Giesbrecht, T. G. Isleib // J. Agric. Food Chem. – 1999. – Vol. 47, № 6. – P. 2415–2420.

243. Pegg, R. B. Measurement of Primary Lipid Oxidation Products. Current Protocols in Food Analytical Chemistry / R. B. Pegg. – 2001. – 198 p.

244. Pignitter, M. Cold Fluorescent Light as Major Inducer of Lipid Oxidation in Soybean Oil Stored at Household Conditions for Eight Weeks / M. Pignitter [et al.] // J. Agric. Food Chem. – 2014. – Vol. 62, № 10. – P. 2297–2305.

245. Rodríguez-Bencomo, J. J. Characterization of the Aroma-Active, Phenolic, and Lipid Profiles of the Pistachio (*Pistacia vera* L.) Nut as Affected by the Single and Double Roasting Process / J. J. Rodríguez-Bencomo [et al.] // J. Agric. Food Chem. – 2015. – Vol. 63, № 35. – P. 7830–7839.

246. Romero, N. Effect of α-tocopherol and α-tocotrienol on the performance of Chilean hazelnut oil (*Gevuina avellana* Mol) at high temperature / N. Romero [et al.] // Journal of the Science of Food and Agriculture. – 2004. – Vol. 84, № 9. – P. 943–948.

247. Russel, D. N. Metabolic response of Danaus archippus and Saccharomyces cerevisiae to weak oscillatory magnetic fields / D.N. Russel, S.Y. Webb // Int J. Biometeorol. – 1981. – Vol. 25. – № 3. – P. 257-262.

248. Saklar, S. Instrumental Crispness and Crunchiness of Roasted Hazelnuts and Correlations with Sensory Assessment / S. Saklar, S. Ungan, S. Katnas // Journal of Food Science. – 1999. – Vol. 64, № 6. – P. 1015–1019.

249. Sánchez-Machado, D. I. High-performance liquid chromatography method to measure α- and γ-tocopherol in leaves, flowers and fresh beans from Moringa oleifera / D. I. Sánchez-Machado, J. López-Cervantes, N. J. Ríos Vázquez // Journal of Chromatography A. – 2006. – Vol. 1105, № 1. – P. 111–114.

250. Savage, G. P. Chemical composition of walnuts (*Juglans regia* L.) grown in New Zealand / G. P. Savage // Plant Foods for Human Nutrition. – 2001. – Vol. 56, № 1 – P. 75–82.

251. Savage, G. P. Fatty acid and tocopherol contents and oxidative stability of walnut oils / G. P. Savage, P. C. Dutta, D. L. McNeil // Journal of the American Oil Chemists' Society. – 1999. – Vol. 76, № 9. – P. 1059–1063.

252. Savage, G. P. Lipid composition and oxidative stability of oils in hazelnuts (*Corylus avellana* L.) grown in New Zealand / G. P. Savage, D. L. McNeil, P. C. Dutta // Journal of the American Oil Chemists' Society. – 1997. – Vol. 74, № 6. – P. 755–759.

253. Shahidi, F. Tree Nut Oils. Bailey's Industrial Oil and Fat Products / F. Shahidi, H. Miraliakbari. – 2005. – 275 p.

254. Shen, Y. Phytochemicals in Sweet Sorghum (*Dura*) and Their Antioxidant Capabilities against Lipid Oxidation / Y. Shen [et al.] // J. Agric. Food Chem. – 2013. – Vol. 61, № 51. – P. 12620–12624.

255. Shin, E. C. Commercial Runner Peanut Cultivars in the United States: Tocopherol Composition / E. C. Shin [et al.] // J. Agric. Food Chem. – 2009. – Vol. 57, № 21. – P. 10289–10295.

256. Siger, A. The long-term storage of cold-pressed oil from roasted rapeseed: Effects on antioxidant activity and levels of canolol and tocopherols / A. Siger, M. Michalak // European Journal of Lipid Science and Technology. – 2016. – Vol. 118, № 7. – P. 1030–1041.

257. Study of Selenium Distribution in the Protein Fractions of the Brazil Nut, Bertholletia excels / T. Chunhieng [et al.] // J. Agric. Food Chem. – 2004. – Vol. 52, № 13. – P. 4318–4322.

258. Sze-Tao, K. W. C. Walnuts (*Juglans regia* L): proximate composition, protein solubility, protein amino acid composition and protein in vitro digestibility / K. W. C. Sze-Tao, S. K. Sathe // Journal of the Science of Food and Agriculture. – 2000. – Vol. 80, № 9. – P. 1393–1401.

259. Tarvainen, M. Effects of Antioxidants on Rapeseed Oil Oxidation in an Artificial Digestion Model Analyzed by UHPLC–ESI–MS / M. Tarvainen [et al.] // J. Agric. Food Chem. – 2012. – Vol. 60, № 14. – P. 3564–3579.

260. Tena, N. In-Depth Assessment of Analytical Methods for Olive Oil Purity, Safety, and Quality Characterization / N. Tena [et al.] // J. Agric. Food Chem. – 2015. – Vol. 63, № 18. – P. 4509–4526.

261. Teselkin, Y. O. Dihydroquercetin as a means of antioxidative defence in rats with tetrachloromethane hepatitis / Y. O. Teselkin [et al.] // Phytotherapy Research. – 2000. – Vol. 14, № 3. – P. 160–162.

262. Teselkin, Y. O. Influence of dihydroquercetin on the lipid peroxidation of mice during post-radiation period / Y. O. Teselkin [et al.] // Phytotherapy Research. – 1998. – Vol. 12, № 7. – P. 517–519.

263. Tomaino, A. Antioxidant activity and phenolic profile of pistachio (*Pistacia vera* L., variety Bronte) seeds and skins / A. Tomaino [et al.] // Biochimie. – 2010. – Vol. 92, № 9. – P. 1115–1122.

264. Toro-Vazquez, J. F. Chemical and physicochemical characteristics of pecan (*Carya illinoensis*) oil native of the central region of Mexico / J. F. Toro-Vazquez, F. Pérez-Briceño // Journal of Food Lipids. – 1998. – Vol. 5, № 3. – P. 211–231.

265. Ulkowski, M. Use of Differential Scanning Calorimetry To Study Lipid Oxidation. Oxidative Stability of Lecithin and Linolenic Acid / M. Ulkowski, M. Musialik, G. Litwinienko // J. Agric. Food Chem. – 2005. – Vol. 53, № 23. – P. 9073–9077.

266. Uluata, S. How the Multiple Antioxidant Properties of Ascorbic Acid Affect Lipid Oxidation in Oil-in-Water Emulsions / S. Uluata, D. J. McClements, E. A. Decker // J. Agric. Food Chem. – 2015. – Vol. 63, № 6. – P. 1819–1824.

267. Uthman, R. S. Lipid analyses of fumigated vs irradiated raw and roasted almonds / R. S. Uthman [et al.] // Journal of the Science of Food and Agriculture. – 1998. – Vol. 78, № 2. – P. 261–266.

268. Vallejo-Cordoba, B. Predicting Milk Shelf-life Based on Artificial Neural Networks and Headspace Gas Chromatographic Data / B. Vallejo-Cordoba, G. E. Arteaga, S. Nakai // Journal of Food Science. – 1995. – Vol. 60, № 5. – P. 885–888.

269. Vázquez-Araújo, L. Changes in volatile compounds and sensory quality during toasting of Spanish almonds / L. Vázquez-Araújo [et al.] // International Journal of Food Science & Technology. – 2009. – Vol. 44, № 11. – P. 2225–2233.

270. Velasco, J. Electron Spin Resonance Spin Trapping for Analysis of Lipid Oxidation in Oils: Inhibiting Effect of the Spin Trap α-Phenyl-N-tert-butylnitrone on Lipid Oxidation / J. Velasco, M. L. Andersen, L. H. Skibsted // J. Agric. Food Chem. – 2005. – Vol. 53, № 5. – P. 1328–1336.

271. Venkatachalam, M. Chemical Composition of Selected Edible Nut Seeds / M. Venkatachalam, S. K. Sathe // J. Agric. Food Chem. – 2006. – Vol. 54, № 13. – P. 4705–4714.

272. Walnut (*Juglans regia* L.): genetic resources, chemistry, by-products / M. L. Martínez [et al.] // Journal of the Science of Food and Agriculture. – 2010. – Vol. 90, № 12. – P. 1959–1967.

273. Wan, Y. The relationship of antioxidant components and antioxidant activity of sesame seed oil / Y. Wan [et al.] // Journal of the Science of Food and Agriculture. – 2015. – Vol. 95, № 13. – P. 2571–2578.

274. Wanga, Y. Enzymatic water extraction of taxifolin from wood sawdust of Larix gmelini (Rupr.) Rupr. and evaluation of its antioxidant activity / Y. Wanga [et al.] // Food Chemistry. – 2011. – Vol. 126, № 3. – P. 1178–1185.

275. Wilkin, J. D. Storage Stability of Whole and Nibbed, Conventional and High Oleic Peanuts (*Arachis hypogeae* L.) / J. D. Wilkin [et al.] // Food and Bioprocess Technology. – 2014. – Vol. 7, № 1. – P. 105-113.

276. Wilson, D. J. Electrical signalling and systemic proteinase inhibitor induction in the wonded plant / D. J. Wilson [et al.] // Nature. – 1992. – Vol. 360. – P. 62-65.

277. Wu, X. Lipophilic and Hydrophilic Antioxidant Capacities of Common Foods in the United States / X. Wu [et al.] // J. Agric. Food Chem. – 2004. – Vol. 52, № 12. – P. 4026–4037.

278. Yaacoub, R. Formation of Lipid Oxidation and Isomerization Products during Processing of Nuts and Sesame Seeds / R. Yaacoub [et al.] // J. Agric. Food Chem. – 2008. – Vol. 56, № 16. – P. 7082–7090.

279. Yalcin, H. Prediction of Effect of Natural Antioxidant Compounds on Hazelnut Oil Oxidation by Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System and Artificial Neural Network / H. Yalcin [et al.] // Journal of Food Science. – 2011. – Vol. 76, № 4. – P. T112–T120.

280. Yang, Z. Effect of High Oxygen Atmosphere Storage on Quality, Antioxidant Enzymes, and DPPH-Radical Scavenging Activity of Chinese Bayberry Fruit / Z. Yang, Y. Zheng, S. Cao // J. Agric. Food Chem. – 2009. – Vol. 57, № 1. – P. 176–181.

281. Yeh, J. Y. Physicochemical and Sensory Characteristic Changes in Fortified Peanut Spreads after 3 Months of Storage at Different Temperatures / J. Y. Yeh [et al.] // J. Agric. Food Chem. – 2002. – Vol. 50, № 8. – P. 2377–2384.

282. Yettella, R. R. Effect of Antioxidants on Soy Oil Conjugated Linoleic Acid Production and Its Oxidative Stability / R. R. Yettella, B. Henbest, A. Proctor // J. Agric. Food Chem. – 2011. – Vol. 59, № 13. – P. 7377–7384.

283. Yu, J. Peanut Skin Phenolics: Extraction, Identification, Antioxidant Activity, and Potential Applications. Antioxidant Measurement and Applications / J. Yu, M. Ahmedna, I. Goktepe // American Chemical Society. – 2007. – Vol. 16. – P. 226–241.

284. Zheng, C. Changes in the content of canolol and total phenolics, oxidative stability of rapeseed oil during accelerated storage / C. Zheng [et al.] // European Journal of Lipid Science and Technology. – 2014. – Vol. 116, № 12. – P. 1675–1684.

285. Zhou, Y. Surface Oxidation under Ambient Air – Not Only a Fast and Economical Method to Identify Double Bond Positions in Unsaturated Lipids But Also a Reminder of Proper Lipid Processing / Y. Zhou [et al.] // Anal. Chem. – 2014. – Vol. 86, № 12. – P. 5697–5705.

Приложение А

(обязательное)

Таблица А.1 – Результаты определения органолептических показателей качества образцов ядер грецких орехов (гедоническая шкала) *

Продолжительность хранения, сутки	Хранение при 20 °С									
	Образец 1	Образец 2	Образец 3	Образец 4	Образец 5	Образец 6	Образец 7	Образец 8	Образец 9	Образец 10
0	4	5	5	5	3	5	4	5	5	5
7	4	5	5	5	3	5	4	5	5	5
14	4	5	5	5	3	5	4	5	5	5
21	4	5	5	5	3	5	4	5	4	5
28	4	5	5	5	3	5	4	5	4	5
35	4	5	5	5	3	5	4	5	4	5
42	4	5	5	5	3	5	4	5	4	5
49	4	5	4	5	3	5	4	5	4	5
56	4	5	4	5	2	5	4	5	4	5
63	4	5	4	5	2	5	4	5	4	5
70	4	5	4	5	2	5	4	5	4	5
77	3	5	4	5	2	5	4	5	4	5
84	3	5	4	5	2	5	4	5	4	5
91	3	5	4	5	2	5	4	5	4	5
98	3	4	4	5	2	4	3	5	4	5
105	3	4	4	5	2	4	3	5	4	5
112	3	4	4	5	2	4	3	5	4	4
119	3	4	4	4	2	4	3	5	3	4
126	2	4	3	4	2	4	3	5	3	4
133	2	4	3	4	2	4	3	4	3	4
140	2	4	3	4	1	4	3	4	3	4
147	2	3	3	4	1	4	3	4	3	4
154	2	3	3	4	1	4	2	4	3	4

Продолжение таблицы А.1

Продолжительность хранения, сутки	**Ускоренное хранение при 35 °С**									
	Образец 1	**Образец 2**	**Образец 3**	**Образец 4**	**Образец 5**	**Образец 6**	**Образец 7**	**Образец 8**	**Образец 9**	**Образец 10**
0	4	5	5	5	3	5	4	5	5	5
7	4	5	5	5	3	5	4	5	5	5
14	4	5	5	5	3	5	4	5	5	5
21	4	5	4	5	2	5	3	5	4	5
28	3	5	4	5	2	5	3	5	4	5
35	3	4	4	5	2	4	3	4	4	5
42	3	4	4	4	1	4	3	4	4	4
49	2	4	4	4	1	4	2	4	4	4
56	2	3	4	4	1	4	2	4	3	4
63	1	3	3	4	1	4	2	4	3	4
70	1	3	3	3	1	4	2	4	3	3
77	1	3	3	3	1	4	2	3	3	3
84	1	3	2	3	1	3	1	3	2	3
91	1	3	2	3	1	3	1	3	2	3
98	1	2	2	3	1	3	1	3	2	3
105	1	2	1	2	1	3	1	2	2	3
112	1	2	1	2	1	3	1	2	2	2
119	1	2	1	2	1	3	1	2	1	2
126	1	1	1	2	1	2	1	2	1	2
133	1	1	1	2	1	2	1	2	1	2
140	1	1	1	2	1	2	1	1	1	2
147	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1
154	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1

* (условные обозначения: 5 – продукт не обладает признаками прогорклости и производит впечатление свежего, 4 – продукт не обладает признаками прогорклости, но не производит впечатление свежего (приемлемое качество), 3 – продукт обладает незначительными признаками прогорклости, 2 – продукт обладает значительными признаками прогорклости, 1 – продукт непригоден для употребления)

Источник: составлено автором

Таблица А.2 – Результаты определения кислотного числа масла ядер грецких орехов, мг КОН/г

Продолжительность хранения, сутки	**Хранение при 20 °С**			
	Образец 4	**Образец 6**	**Образец 8**	**Образец 10**
0	1,55±0,11	2,03±0,14	2,49±0,17	1,84±0,13
7	1,58±0,11	2,09±0,15	2,56±0,18	1,97±0,14
14	1,63±0,11	2,15±0,15	2,68±0,19	2,04±0,14
21	1,68±0,12	2,20±0,15	2,75±0,19	2,09±0,15
28	1,75±0,12	2,26±0,16	2,90±0,20	2,15±0,15
35	1,84±0,13	2,34±0,16	3,15±0,22	2,21±0,15
42	1,91±0,13	2,40±0,17	3,27±0,23	2,27±0,16
49	1,85±0,13	2,47±0,17	3,36±0,24	2,32±0,16
56	1,82±0,13	2,55±0,18	3,42±0,24	2,38±0,17
63	1,78±0,12	2,62±0,18	3,49±0,24	2,45±0,17
70	1,76±0,12	2,75±0,19	3,53±0,25	2,53±0,18
77	1,74±0,12	2,70±0,19	3,60±0,25	2,66±0,19
84	1,69±0,12	2,64±0,19	3,67±0,26	2,75±0,19
91	1,63±0,11	2,59±0,18	3,74±0,26	2,87±0,20
98	1,69±0,12	2,51±0,18	3,78±0,26	2,91±0,20
105	1,74±0,12	2,46±0,17	3,87±0,27	3,06±0,21
112	1,79±0,13	2,40±0,17	3,93±0,27	3,02±0,21
119	1,83±0,13	2,35±0,16	4,06±0,28	2,98±0,21
126	1,91±0,13	2,30±0,16	4,01±0,28	2,93±0,21
133	1,99±0,14	2,52±0,18	3,98±0,28	2,85±0,20
140	2,05±0,14	2,73±0,19	3,93±0,28	2,89±0,20
147	2,23±0,16	2,84±0,20	3,86±0,27	2,95±0,21
154	2,45±0,17	2,92±0,20	3,84±0,27	3,02±0,21
Продолжительность хранения, сутки	**Ускоренное хранение при 35 °С**			
	Образец 4	**Образец 6**	**Образец 8**	**Образец 10**
0	1,55±0,11	2,03±0,14	2,49±0,17	1,84±0,13
7	1,59±0,11	2,08±0,15	2,54±0,18	1,94±0,14
14	1,65±0,12	2,17±0,15	2,58±0,18	2,02±0,14
21	1,72±0,12	2,25±0,16	2,63±0,18	2,16±0,15
28	1,80±0,13	2,32±0,16	2,69±0,19	2,24±0,16
35	1,88±0,13	2,38±0,17	2,76±0,19	2,32±0,16
42	1,96±0,14	2,43±0,17	2,82±0,20	2,47±0,17
49	2,06±0,14	2,51±0,18	2,89±0,20	2,52±0,18
56	2,13±0,15	2,59±0,18	2,94±0,21	2,68±0,19
63	2,29±0,16	2,68±0,19	3,02±0,21	2,83±0,20
70	2,35±0,16	2,78±0,19	3,17±0,22	2,95±0,21
77	2,52±0,18	2,84±0,20	3,25±0,23	3,05±0,21
84	2,77±0,19	2,92±0,20	3,37±0,24	3,14±0,22
91	2,92±0,20	3,08±0,22	3,48±0,24	3,26±0,23
98	3,15±0,22	3,04±0,21	3,42±0,24	3,05±0,21
105	3,27±0,23	2,98±0,21	3,39±0,24	2,98±0,21
112	3,15±0,22	2,91±0,20	3,47±0,24	2,85±0,20
119	3,09±0,22	2,97±0,21	3,58±0,25	2,80±0,20
126	3,00±0,21	3,09±0,22	3,65±0,26	2,72±0,19
133	2,96±0,21	3,25±0,23	3,52±0,25	2,77±0,19
140	2,87±0,20	3,32±0,23	3,44±0,24	2,83±0,20
147	2,93±0,20	3,44±0,24	3,53±0,25	2,91±0,20
154	3,03±0,21	3,40±0,24	3,60±0,25	2,99±0,21
Продолжительность хранения, сутки	**Ускоренное хранение при 45 °С**			
	Образец 4	**Образец 6**	**Образец 8**	**Образец 10**

Продолжение таблицы А.2

0	1,55±0,11	2,03±0,14	2,49±0,17	1,84±0,13
7	1,57±0,11	2,05±0,14	2,57±0,18	1,89±0,13
14	1,65±0,12	2,14±0,15	2,67±0,19	1,97±0,14
21	1,75±0,12	2,22±0,16	2,79±0,20	2,08±0,15
28	1,86±0,13	2,32±0,16	2,92±0,20	2,15±0,15
35	1,98±0,14	2,45±0,17	3,02±0,21	2,26±0,16
42	2,10±0,15	2,57±0,18	3,15±0,22	2,39±0,17
49	2,23±0,16	2,78±0,19	3,28±0,23	2,53±0,18
56	2,35±0,16	2,90±0,20	3,42±0,24	2,66±0,19
63	2,50±0,17	3,04±0,21	3,53±0,25	2,72±0,19
70	2,62±0,18	3,17±0,22	3,69±0,26	2,86±0,20
77	2,75±0,19	3,25±0,23	3,79±0,27	2,99±0,21
84	2,90±0,20	3,34±0,23	3,94±0,28	3,11±0,22
91	3,03±0,21	3,43±0,24	3,98±0,28	3,25±0,23
98	3,16±0,22	3,53±0,25	4,04±0,28	3,36±0,24
105	3,35±0,23	3,69±0,26	4,15±0,29	3,42±0,24
112	3,45±0,24	3,62±0,25	4,30±0,30	3,53±0,25
119	3,60±0,25	3,52±0,25	4,25±0,30	3,62±0,25
126	3,72±0,26	3,41±0,24	4,19±0,29	3,75±0,26
133	3,90±0,27	3,53±0,25	4,13±0,29	3,82±0,27
140	3,74±0,26	3,65±0,26	4,24±0,30	3,78±0,26
147	3,65±0,26	3,83±0,27	4,35±0,30	3,52±0,25
154	3,80±0,27	3,98±0,28	4,45±0,31	3,45±0,24
Продолжительность хранения, сутки	**Ускоренное хранение при 55 °С**			
	Образец 4	**Образец 6**	**Образец 8**	**Образец 10**
0	1,55±0,11	2,03±0,14	2,49±0,17	1,84±0,13
7	1,61±0,11	2,25±0,16	2,53±0,18	1,95±0,14
14	1,75±0,12	2,39±0,17	2,65±0,19	2,08±0,15
21	1,89±0,13	2,51±0,18	2,73±0,19	2,22±0,16
28	2,02±0,14	2,64±0,18	2,86±0,20	2,35±0,16
35	2,16±0,15	2,75±0,19	2,94±0,21	2,53±0,18
42	2,28±0,16	2,87±0,20	3,08±0,22	2,67±0,19
49	2,39±0,17	2,97±0,21	3,18±0,22	2,93±0,21
56	2,53±0,18	3,11±0,22	3,35±0,23	3,17±0,22
63	2,66±0,19	3,26±0,23	3,51±0,25	3,30±0,23
70	2,78±0,19	3,37±0,24	3,78±0,26	3,50±0,24
77	2,91±0,20	3,50±0,24	3,93±0,28	3,76±0,26
84	3,01±0,21	3,62±0,25	4,30±0,30	3,65±0,26
91	3,17±0,22	3,74±0,26	4,46±0,31	3,58±0,25
98	3,35±0,23	4,10±0,29	4,68±0,33	3,53±0,25
105	3,52±0,25	4,25±0,30	4,53±0,32	3,43±0,24
112	3,76±0,26	4,19±0,29	4,42±0,31	3,37±0,24
119	3,94±0,28	4,10±0,29	4,35±0,30	3,40±0,24
126	3,85±0,27	4,03±0,28	4,30±0,30	3,49±0,24
133	3,80±0,27	3,96±0,28	4,25±0,30	3,60±0,25
140	3,73±0,26	3,83±0,27	4,31±0,30	3,75±0,26
147	3,65±0,26	3,95±0,28	4,35±0,30	3,93±0,27
154	3,52±0,25	4,08±0,29	4,44±0,31	4,25±0,30

Источник: составлено автором

Таблица А.3 – Результаты определения перекисного числа масла ядер грецких орехов, ммоль½О/кг масла

Продолжительность хранения, сутки	Хранение при 20 °С									
	Образец 1	Образец 2	Образец 3	Образец 4	Образец 5	Образец 6	Образец 7	Образец 8	Образец 9	Образец 10
0	1,49±0,12	0,88±0,07	0,99±0,08	0,38±0,03	2,08±0,17	0,73±0,06	1,18±0,09	0,53±0,04	1,12±0,09	0,49±0,04
7	1,72±0,14	0,95±0,08	1,16±0,09	0,43±0,03	2,42±0,19	0,77±0,06	1,31±0,10	0,58±0,05	1,28±0,10	0,53±0,04
14	1,90±0,15	1,17±0,09	1,33±0,11	0,50±0,04	2,81±0,22	0,85±0,07	1,45±0,12	0,63±0,05	1,56±0,13	0,58±0,05
21	2,19±0,17	1,39±0,11	1,52±0,12	0,62±0,05	3,19±0,13	0,91±0,07	1,62±0,13	0,69±0,05	1,83±0,15	0,63±0,05
28	2,30±0,18	1,68±0,13	1,81±0,14	0,73±0,06	3,51±0,14	0,96±0,08	1,82±0,15	0,77±0,06	2,05±0,16	0,68±0,05
35	2,59±0,21	1,82±0,15	2,19±0,17	0,84±0,07	3,91±0,16	1,03±0,08	2,06±0,17	0,90±0,07	2,32±0,19	0,79±0,06
42	3,02±0,12	2,03±0,16	2,44±0,19	0,96±0,08	4,32±0,17	1,13±0,09	2,31±0,18	1,15±0,09	2,65±0,21	0,83±0,07
49	3,49±0,14	2,29±0,18	2,82±0,23	1,09±0,09	4,86±0,19	1,23±0,10	2,53±0,20	1,35±0,11	2,99±0,24	0,90±0,07
56	3,82±0,15	2,57±0,21	3,31±0,13	1,20±0,10	5,38±0,22	1,31±0,10	2,86±0,23	1,59±0,13	3,31±0,13	0,99±0,08
63	4,35±0,17	3,02±0,12	3,82±0,15	1,37±0,11	5,82±0,23	1,38±0,11	3,20±0,13	1,83±0,15	3,73±0,15	1,11±0,09
70	4,89±0,20	3,35±0,13	4,42±0,18	1,54±0,12	6,33±0,25	1,45±0,12	3,57±0,14	2,05±0,16	4,21±0,17	1,27±0,10
77	5,35±0,21	3,94±0,16	5,09±0,20	1,70±0,14	6,91±0,28	1,56±0,13	3,93±0,16	2,25±0,18	4,78±0,19	1,40±0,11
84	5,93±0,24	4,49±0,18	5,72±0,23	1,86±0,15	7,76±0,31	1,64±0,13	4,37±0,17	2,44±0,19	5,24±0,21	1,58±0,13
91	6,49±0,26	4,82±0,19	6,43±0,26	2,03±0,16	8,52±0,34	1,76±0,14	4,86±0,19	2,70±0,22	5,75±0,23	1,72±0,14
98	7,16±0,29	5,32±0,21	7,18±0,29	2,30±0,18	9,33±0,37	1,90±0,15	5,32±0,21	2,94±0,24	6,29±0,25	1,86±0,15
105	7,86±0,31	5,82±0,23	7,85±0,31	2,62±0,21	10,09±0,40	2,13±0,17	5,91±0,24	3,15±0,13	6,84±0,27	2,06±0,16
112	8,65±0,35	6,47±0,26	8,72±0,35	2,87±0,23	10,83±0,43	2,32±0,19	6,53±0,26	3,32±0,13	7,26±0,29	2,35±0,19
119	9,53±0,38	7,05±0,28	9,42±0,38	3,17±0,13	11,60±0,46	2,57±0,21	7,30±0,29	3,69±0,15	7,64±0,31	2,60±0,21
126	10,38±0,42	7,62±0,30	10,13±0,41	3,43±0,14	12,50±0,50	2,94±0,24	8,06±0,32	4,09±0,16	8,04±0,32	2,95±0,24
133	11,19±0,45	8,32±0,33	10,83±0,43	3,71±0,15	13,26±0,53	3,22±0,13	8,82±0,35	4,38±0,18	8,54±0,34	3,35±0,13
140	12,04±0,48	8,95±0,36	11,73±0,47	4,12±0,16	13,55±0,54	3,53±0,14	9,73±0,39	4,87±0,19	9,00±0,36	3,86±0,15
147	13,14±0,53	9,58±0,38	12,61±0,50	4,49±0,18	12,95±0,52	3,81±0,15	10,65±0,43	5,29±0,21	9,68±0,39	4,62±0,18
154	14,32±0,57	10,16±0,41	13,40±0,54	4,82±0,19	12,73±0,51	4,21±0,17	11,35±0,45	5,70±0,23	10,34±0,41	5,19±0,21
Продолжительность хранения, сутки	**Ускоренное хранение при 35 °С**									
	Образец 1	**Образец 2**	**Образец 3**	**Образец 4**	**Образец 5**	**Образец 6**	**Образец 7**	**Образец 8**	**Образец 9**	**Образец 10**

Продолжение таблицы А.3

0	1,49±0,12	0,88±0,07	0,99±0,08	0,38±0,03	2,08±0,17	0,73±0,06	1,18±0,09	0,53±0,04	1,12±0,09	0,49±0,04
7	1,73±0,14	1,01±0,08	1,21±0,10	0,45±0,04	2,54±0,20	0,86±0,07	1,44±0,11	0,63±0,05	1,36±0,11	0,57±0,05
14	2,10±0,17	1,27±0,10	1,56±0,13	0,56±0,05	3,20±0,13	1,01±0,08	1,73±0,14	0,76±0,06	1,62±0,13	0,69±0,06
21	2,50±0,20	1,52±0,12	1,94±0,15	0,68±0,05	3,85±0,15	1,26±0,10	2,00±0,16	0,90±0,07	2,14±0,17	0,82±0,07
28	3,09±0,12	1,86±0,15	2,41±0,19	0,87±0,07	4,53±0,18	1,59±0,13	2,36±0,19	1,15±0,09	2,52±0,20	0,97±0,08
35	3,85±0,15	2,29±0,18	2,95±0,24	1,15±0,09	5,38±0,22	2,07±0,17	2,76±0,22	1,40±0,11	2,93±0,23	1,13±0,09
42	4,53±0,18	2,72±0,22	3,57±0,14	1,46±0,12	6,24±0,25	2,76±0,22	3,17±0,13	1,74±0,14	3,31±0,13	1,36±0,11
49	5,50±0,22	3,26±0,13	4,16±0,17	1,90±0,15	7,49±0,30	3,56±0,14	3,75±0,15	2,22±0,18	3,72±0,15	1,74±0,14
56	6,35±0,25	3,96±0,16	4,86±0,19	2,35±0,19	8,60±0,34	4,41±0,18	4,40±0,18	2,76±0,22	4,17±0,17	2,11±0,17
63	7,31±0,29	4,74±0,19	5,61±0,22	2,95±0,24	9,83±0,39	5,39±0,22	5,03±0,20	3,36±0,13	4,76±0,19	2,47±0,20
70	8,46±0,34	5,56±0,22	6,73±0,27	3,51±0,14	11,09±0,44	6,44±0,26	6,30±0,25	4,06±0,16	5,31±0,21	2,84±0,23
77	9,72±0,39	6,46±0,26	7,86±0,31	4,03±0,16	12,59±0,50	7,61±0,30	7,39±0,30	4,80±0,19	5,93±0,24	3,59±0,14
84	10,93±0,44	7,35±0,29	9,03±0,36	4,73±0,19	13,97±0,56	8,73±0,35	8,55±0,34	5,73±0,23	6,52±0,26	4,33±0,17
91	12,35±0,49	8,44±0,34	10,30±0,41	5,56±0,22	13,39±0,54	9,96±0,40	9,76±0,39	6,64±0,27	7,27±0,29	5,20±0,21
98	13,61±0,54	9,66±0,39	11,48±0,46	6,40±0,26	12,79±0,51	11,34±0,45	10,94±0,44	7,94±0,32	7,93±0,32	6,01±0,24
105	14,96±0,60	10,87±0,43	12,64±0,51	7,49±0,30	12,41±0,50	12,85±0,51	12,63±0,51	9,26±0,37	8,94±0,36	7,29±0,29
112	14,56±0,58	12,19±0,49	12,85±0,51	8,52±0,34	12,14±0,49	13,98±0,56	13,81±0,55	10,50±0,42	10,04±0,40	8,52±0,34
119	14,07±0,56	13,26±0,53	13,00±0,52	9,73±0,39	11,87±0,47	13,86±0,55	14,56±0,58	11,74±0,47	11,30±0,45	9,74±0,39
126	13,55±0,54	12,68±0,51	12,70±0,51	10,93±0,44	11,73±0,47	14,18±0,57	14,29±0,57	12,93±0,52	12,55±0,50	10,94±0,44
133	12,76±0,51	12,02±0,48	12,49±0,50	12,35±0,49	11,64±0,47	13,73±0,55	13,99±0,56	13,85±0,55	13,75±0,55	12,19±0,49
140	12,07±0,48	11,39±0,46	12,25±0,49	13,65±0,55	11,79±0,47	13,43±0,54	13,63±0,55	13,65±0,55	14,64±0,59	13,64±0,55
147	11,36±0,45	10,77±0,43	11,94±0,48	13,92±0,56	11,53±0,46	12,93±0,52	13,38±0,54	12,86±0,51	13,90±0,56	14,94±0,60
154	10,71±0,43	10,26±0,41	11,49±0,46	13,43±0,54	11,35±0,45	12,25±0,49	12,97±0,52	13,14±0,53	14,16±0,57	14,82±0,59
Продолжительность хранения, сутки	**Ускоренное хранение при 45 °С**									
	Образец 1	**Образец 2**	**Образец 3**	**Образец 4**	**Образец 5**	**Образец 6**	**Образец 7**	**Образец 8**	**Образец 9**	**Образец 10**
0	1,49±0,12	0,88±0,07	0,99±0,08	0,38±0,03	2,08±0,17	0,73±0,06	1,18±0,09	0,53±0,04	1,12±0,09	0,49±0,04
7	1,92±0,15	1,24±0,10	1,52±0,12	0,54±0,04	2,91±0,23	1,03±0,08	1,94±0,16	0,91±0,07	1,83±0,15	0,73±0,06
14	3,65±0,15	1,70±0,14	2,32±0,19	0,92±0,07	4,25±0,17	1,73±0,14	3,48±0,14	1,53±0,12	2,43±0,19	1,01±0,08

Продолжение таблицы А.3

21	5,19±0,21	2,52±0,20	3,67±0,15	1,64±0,13	7,83±0,31	2,51±0,20	5,32±0,21	2,43±0,19	3,33±0,13	1,53±0,12
28	6,60±0,26	3,91±0,16	8,25±0,33	2,52±0,20	12,06±0,48	3,73±0,15	9,35±0,37	3,67±0,15	4,84±0,19	2,16±0,17
35	9,98±0,40	7,32±0,29	13,43±0,54	3,83±0,15	14,84±0,59	5,25±0,21	14,38±0,58	5,03±0,20	9,18±0,37	3,25±0,13
42	13,49±0,54	11,09±0,44	12,30±0,49	5,17±0,21	13,55±0,54	8,29±0,33	13,64±0,55	8,28±0,33	13,35±0,53	4,59±0,18
49	14,92±0,60	14,84±0,59	11,57±0,46	8,93±0,36	12,34±0,49	12,13±0,49	12,35±0,49	13,65±0,55	12,35±0,49	7,27±0,29
56	12,43±0,50	13,24±0,53	10,86±0,43	14,38±0,58	11,62±0,46	14,74±0,59	11,27±0,45	13,24±0,53	11,29±0,45	10,13±0,41
63	11,70±0,47	12,65±0,51	10,12±0,40	12,65±0,51	10,25±0,41	13,35±0,53	10,96±0,44	12,34±0,49	10,35±0,41	13,65±0,55
70	10,50±0,42	12,07±0,48	9,46±0,38	13,09±0,52	8,63±0,35	14,06±0,56	9,81±0,39	11,85±0,47	8,19±0,33	13,35±0,53
77	9,33±0,37	11,25±0,45	8,51±0,34	12,35±0,49	7,35±0,29	13,47±0,54	9,24±0,37	10,46±0,42	7,23±0,29	12,14±0,49
84	7,39±0,30	10,55±0,42	7,82±0,31	11,63±0,47	6,42±0,26	12,64±0,51	8,45±0,34	9,84±0,39	5,93±0,24	11,47±0,46
91	7,91±0,32	9,76±0,39	7,25±0,29	10,31±0,41	5,76±0,23	11,86±0,47	7,68±0,31	8,32±0,33	6,44±0,26	10,76±0,43
98	6,25±0,25	9,43±0,38	6,34±0,25	9,75±0,39	4,83±0,19	10,32±0,41	6,49±0,26	7,32±0,29	5,14±0,21	9,54±0,38
105	5,39±0,22	7,92±0,32	5,67±0,23	8,80±0,35	4,26±0,17	9,17±0,37	4,92±0,20	6,35±0,25	4,35±0,17	8,25±0,33
112	4,44±0,18	7,38±0,30	4,84±0,19	8,14±0,33	5,13±0,21	7,93±0,32	5,53±0,22	5,85±0,23	3,12±0,12	7,36±0,29
119	5,09±0,20	6,55±0,26	4,30±0,17	7,59±0,30	4,52±0,18	6,44±0,26	4,11±0,16	6,77±0,27	2,83±0,23	6,54±0,26
126	5,35±0,21	5,82±0,23	3,57±0,14	6,48±0,26	3,65±0,15	5,54±0,22	3,64±0,15	5,25±0,21	3,52±0,14	5,68±0,23
133	4,84±0,19	4,64±0,19	3,96±0,16	7,07±0,28	4,04±0,16	4,32±0,17	2,84±0,23	4,32±0,17	4,38±0,18	4,37±0,17
140	3,63±0,15	4,03±0,16	4,24±0,17	6,24±0,25	3,29±0,13	3,55±0,14	4,25±0,17	3,48±0,14	3,77±0,15	5,53±0,22
147	4,03±0,16	3,81±0,15	3,65±0,15	5,82±0,23	2,34±0,19	4,58±0,18	3,65±0,15	4,60±0,18	2,18±0,17	4,38±0,18
154	4,27±0,17	3,28±0,13	4,19±0,17	5,43±0,22	3,81±0,15	5,33±0,21	3,03±0,12	3,84±0,15	3,83±0,15	3,85±0,15
Продолжительность хранения, сутки	**Ускоренное хранение при 55 °С**									
	Образец 1	**Образец 2**	**Образец 3**	**Образец 4**	**Образец 5**	**Образец 6**	**Образец 7**	**Образец 8**	**Образец 9**	**Образец 10**
0	1,49±0,12	0,88±0,07	0,99±0,08	0,38±0,03	2,08±0,17	0,73±0,06	1,18±0,09	0,53±0,04	1,12±0,09	0,49±0,04
7	2,34±0,19	1,53±0,12	1,93±0,15	0,73±0,06	3,71±0,15	1,26±0,10	2,57±0,21	1,35±0,11	2,64±0,21	0,94±0,08
14	3,55±0,14	2,49±0,20	3,41±0,14	1,52±0,12	7,25±0,29	2,06±0,17	5,19±0,21	2,26±0,18	4,19±0,17	1,50±0,12
21	5,29±0,21	3,49±0,14	5,75±0,23	2,38±0,19	11,36±0,45	3,34±0,13	9,03±0,36	3,59±0,14	6,35±0,25	2,36±0,19
28	8,06±0,32	5,93±0,24	9,48±0,38	3,84±0,15	14,86±0,59	5,17±0,21	13,25±0,53	5,42±0,22	9,83±0,39	3,83±0,15
35	11,35±0,45	7,84±0,31	13,35±0,53	5,35±0,21	11,47±0,46	9,63±0,39	12,65±0,51	8,93±0,36	13,01±0,52	5,63±0,23

Продолжение таблицы А.3

42	14,30±0,57	10,96±0,44	12,48±0,50	7,83±0,31	8,63±0,35	12,95±0,52	10,48±0,42	11,45±0,46	13,70±0,55	9,06±0,36
49	12,43±0,50	14,53±0,58	13,82±0,55	10,62±0,42	6,22±0,25	13,25±0,53	7,63±0,31	14,36±0,57	11,23±0,45	13,30±0,53
56	9,34±0,37	12,35±0,49	12,72±0,51	13,95±0,56	4,07±0,16	11,25±0,45	5,24±0,21	12,54±0,50	8,96±0,36	12,49±0,50
63	7,69±0,31	10,86±0,43	11,53±0,46	12,35±0,49	3,30±0,13	8,64±0,35	3,69±0,15	9,86±0,39	7,23±0,29	10,37±0,41
70	4,83±0,19	7,74±0,31	10,96±0,44	11,33±0,45	2,43±0,19	5,49±0,22	4,68±0,19	8,20±0,33	5,83±0,23	7,63±0,31
77	2,35±0,19	5,68±0,23	9,25±0,37	9,84±0,39	5,26±0,21	7,23±0,29	3,15±0,13	6,36±0,25	2,94±0,23	5,82±0,23
84	3,44±0,14	3,43±0,14	8,36±0,33	8,52±0,34	3,59±0,14	6,30±0,25	2,35±0,19	5,03±0,20	3,55±0,14	6,40±0,26
91	2,96±0,24	4,81±0,19	7,82±0,31	7,62±0,30	4,36±0,17	4,21±0,17	4,37±0,17	3,93±0,16	4,23±0,17	4,07±0,16
98	4,73±0,19	3,36±0,13	5,65±0,23	6,83±0,27	3,06±0,12	3,31±0,13	3,29±0,13	4,58±0,18	3,36±0,13	3,35±0,13
105	3,96±0,16	5,29±0,21	4,06±0,16	5,13±0,21	2,65±0,21	2,65±0,21	2,64±0,21	3,59±0,14	2,51±0,20	2,54±0,20
112	4,59±0,18	4,52±0,18	3,27±0,13	4,97±0,20	3,16±0,13	3,59±0,14	3,97±0,16	2,64±0,21	3,63±0,15	4,72±0,19
119	4,04±0,16	5,76±0,23	4,75±0,19	3,75±0,15	4,31±0,17	4,66±0,19	2,69±0,21	3,24±0,13	5,64±0,23	3,43±0,14
126	2,86±0,23	4,24±0,17	2,40±0,19	5,25±0,21	3,27±0,13	3,97±0,16	3,45±0,14	4,36±0,17	4,04±0,16	2,63±0,21
133	3,56±0,14	3,57±0,14	4,76±0,19	3,63±0,15	3,48±0,14	3,21±0,13	3,82±0,15	3,26±0,13	3,61±0,14	4,61±0,18
140	2,48±0,20	2,55±0,20	3,25±0,13	2,13±0,17	2,48±0,20	2,83±0,23	4,63±0,19	2,55±0,20	2,74±0,22	3,59±0,14
147	3,74±0,15	3,86±0,15	5,62±0,22	3,54±0,14	3,68±0,15	3,62±0,14	1,94±0,16	2,94±0,23	3,22±0,13	1,53±0,12
154	3,25±0,13	2,61±0,21	4,35±0,17	2,40±0,19	2,55±0,20	3,22±0,13	2,65±0,21	3,81±0,15	3,53±0,14	2,37±0,19

Источник: составлено автором

Таблица А.4 – Результаты определения тиобарбитурового числа масла ядер грецких орехов, мг малонового диальдегида/кг масла

Продолжительность хранения, сутки	**Хранение при 20 °С**									
	Образец 1	**Образец 2**	**Образец 3**	**Образец 4**	**Образец 5**	**Образец 6**	**Образец 7**	**Образец 8**	**Образец 9**	**Образец 10**
0	0,102±0,010	0,083±0,008	0,093±0,009	0,025±0,003	0,146±0,015	0,041±0,004	0,108±0,011	0,053±0,005	0,119±0,012	0,034±0,003

Продолжение таблицы А.4

7	0,126±0,013	0,105±0,011	0,124±0,012	0,042±0,004	0,183±0,018	0,070±0,007	0,142±0,014	0,070±0,007	0,150±0,015	0,052±0,005
14	0,156±0,016	0,134±0,013	0,150±0,015	0,070±0,007	0,234±0,023	0,095±0,010	0,185±0,019	0,102±0,010	0,196±0,020	0,086±0,009
21	0,183±0,018	0,159±0,016	0,189±0,019	0,094±0,009	0,275±0,028	0,113±0,011	0,229±0,023	0,126±0,013	0,218±0,022	0,104±0,010
28	0,227±0,023	0,186±0,019	0,228±0,023	0,115±0,012	0,316±0,032	0,138±0,014	0,274±0,027	0,154±0,015	0,253±0,025	0,132±0,013
35	0,261±0,026	0,211±0,021	0,254±0,025	0,146±0,015	0,348±0,035	0,157±0,016	0,308±0,031	0,189±0,019	0,287±0,029	0,152±0,015
42	0,296±0,030	0,238±0,024	0,296±0,030	0,173±0,017	0,395±0,040	0,182±0,018	0,345±0,035	0,217±0,022	0,334±0,033	0,188±0,019
49	0,348±0,035	0,276±0,028	0,328±0,033	0,204±0,020	0,441±0,044	0,206±0,021	0,388±0,039	0,230±0,023	0,365±0,037	0,216±0,022
56	0,383±0,038	0,303±0,030	0,349±0,035	0,235±0,024	0,480±0,048	0,224±0,022	0,427±0,043	0,283±0,028	0,390±0,039	0,230±0,023
63	0,429±0,043	0,337±0,034	0,387±0,039	0,276±0,028	0,512±0,036	0,249±0,025	0,450±0,045	0,311±0,031	0,433±0,043	0,259±0,026
70	0,472±0,047	0,354±0,035	0,425±0,043	0,294±0,029	0,556±0,039	0,285±0,029	0,488±0,049	0,337±0,034	0,471±0,047	0,287±0,029
77	0,512±0,036	0,382±0,038	0,451±0,045	0,335±0,034	0,598±0,042	0,314±0,031	0,531±0,037	0,385±0,039	0,509±0,036	0,324±0,032
84	0,558±0,039	0,416±0,042	0,483±0,048	0,370±0,037	0,632±0,044	0,339±0,034	0,579±0,041	0,412±0,041	0,548±0,038	0,358±0,036
91	0,603±0,042	0,448±0,045	0,526±0,037	0,411±0,041	0,683±0,048	0,378±0,038	0,623±0,044	0,430±0,043	0,583±0,041	0,401±0,040
98	0,641±0,045	0,486±0,049	0,568±0,040	0,429±0,043	0,729±0,051	0,416±0,042	0,654±0,046	0,476±0,048	0,625±0,044	0,442±0,044
105	0,678±0,047	0,527±0,037	0,594±0,042	0,474±0,047	0,761±0,053	0,453±0,045	0,695±0,049	0,499±0,050	0,670±0,047	0,473±0,047
112	0,714±0,050	0,561±0,039	0,632±0,044	0,502±0,035	0,797±0,056	0,481±0,048	0,714±0,050	0,532±0,037	0,708±0,050	0,502±0,035
119	0,735±0,051	0,592±0,041	0,669±0,047	0,537±0,038	0,834±0,058	0,522±0,037	0,751±0,053	0,561±0,039	0,761±0,053	0,530±0,037
126	0,751±0,053	0,640±0,045	0,705±0,049	0,568±0,040	0,880±0,062	0,560±0,039	0,783±0,055	0,594±0,042	0,819±0,057	0,578±0,040
133	0,780±0,055	0,687±0,048	0,734±0,051	0,613±0,043	0,932±0,065	0,589±0,041	0,824±0,058	0,628±0,044	0,855±0,060	0,615±0,043
140	0,824±0,058	0,716±0,050	0,781±0,055	0,642±0,045	0,978±0,068	0,634±0,044	0,875±0,061	0,663±0,046	0,880±0,062	0,649±0,045
147	0,846±0,059	0,735±0,051	0,836±0,059	0,679±0,048	1,025±0,072	0,670±0,047	0,903±0,063	0,689±0,048	0,924±0,065	0,682±0,048
154	0,862±0,060	0,774±0,054	0,861±0,060	0,725±0,051	1,057±0,074	0,708±0,050	0,937±0,066	0,711±0,050	0,973±0,068	0,723±0,051
Продолжительность хранения, сутки	**Ускоренное хранение при 35 °С**									
	Образец 1	**Образец 2**	**Образец 3**	**Образец 4**	**Образец 5**	**Образец 6**	**Образец 7**	**Образец 8**	**Образец 9**	**Образец 10**
0	0,102±0,010	0,083±0,008	0,093±0,009	0,025±0,003	0,146±0,015	0,041±0,004	0,108±0,011	0,053±0,005	0,119±0,012	0,034±0,003
7	0,186±0,019	0,154±0,015	0,170±0,017	0,055±0,006	0,231±0,023	0,064±0,006	0,182±0,018	0,074±0,007	0,228±0,023	0,049±0,005
14	0,273±0,027	0,220±0,022	0,253±0,025	0,094±0,009	0,315±0,032	0,095±0,010	0,276±0,028	0,093±0,009	0,319±0,032	0,077±0,008
21	0,359±0,036	0,309±0,031	0,314±0,031	0,153±0,015	0,401±0,040	0,158±0,016	0,352±0,035	0,137±0,014	0,402±0,040	0,094±0,009

Продолжение таблицы А.4

28	0,430±0,043	0,384±0,038	0,375±0,038	0,217±0,022	0,517±0,036	0,274±0,027	0,422±0,042	0,184±0,018	0,486±0,049	0,135±0,014
35	0,518±0,036	0,457±0,046	0,448±0,045	0,283±0,028	0,598±0,042	0,396±0,040	0,510±0,036	0,251±0,025	0,522±0,037	0,179±0,018
42	0,609±0,043	0,529±0,037	0,523±0,037	0,354±0,035	0,684±0,048	0,517±0,036	0,576±0,040	0,309±0,031	0,589±0,041	0,224±0,022
49	0,684±0,048	0,610±0,043	0,598±0,042	0,420±0,042	0,773±0,054	0,629±0,044	0,634±0,044	0,387±0,039	0,651±0,046	0,260±0,026
56	0,763±0,053	0,694±0,049	0,682±0,048	0,483±0,048	0,892±0,062	0,754±0,053	0,722±0,051	0,450±0,045	0,720±0,050	0,317±0,032
63	0,859±0,060	0,772±0,054	0,758±0,053	0,551±0,039	0,976±0,068	0,823±0,058	0,832±0,058	0,522±0,037	0,801±0,056	0,362±0,036
70	0,937±0,066	0,861±0,060	0,843±0,059	0,628±0,044	1,085±0,076	0,911±0,064	0,942±0,066	0,612±0,043	0,865±0,061	0,411±0,041
77	1,008±0,071	0,94±0,066	0,964±0,067	0,704±0,049	1,173±0,082	0,973±0,068	1,058±0,074	0,759±0,053	0,912±0,064	0,492±0,049
84	1,092±0,076	1,028±0,072	1,086±0,076	0,772±0,054	1,294±0,091	1,035±0,072	1,143±0,080	0,841±0,059	0,984±0,069	0,553±0,039
91	1,165±0,082	1,101±0,077	1,194±0,084	0,850±0,060	1,414±0,099	1,093±0,077	1,239±0,087	0,936±0,066	1,059±0,074	0,671±0,047
98	1,250±0,088	1,173±0,082	1,253±0,088	0,921±0,064	1,529±0,107	1,184±0,083	1,364±0,095	1,076±0,075	1,197±0,084	0,753±0,053
105	1,329±0,093	1,253±0,088	1,299±0,091	1,008±0,071	1,634±0,114	1,293±0,091	1,475±0,103	1,193±0,084	1,329±0,093	0,894±0,063
112	1,415±0,099	1,330±0,093	1,376±0,096	1,082±0,076	1,778±0,124	1,351±0,095	1,582±0,111	1,313±0,092	1,457±0,102	0,975±0,068
119	1,483±0,104	1,406±0,098	1,452±0,102	1,167±0,082	1,852±0,130	1,422±0,100	1,669±0,117	1,420±0,099	1,582±0,111	1,092±0,076
126	1,561±0,109	1,483±0,104	1,530±0,107	1,259±0,088	1,925±0,135	1,505±0,105	1,790±0,125	1,539±0,108	1,663±0,116	1,208±0,085
133	1,632±0,114	1,552±0,109	1,618±0,113	1,344±0,094	2,012±0,141	1,562±0,109	1,873±0,131	1,674±0,117	1,795±0,126	1,342±0,094
140	1,716±0,120	1,637±0,115	1,695±0,119	1,420±0,099	2,099±0,147	1,620±0,113	1,954±0,137	1,762±0,123	1,840±0,129	1,468±0,103
147	1,784±0,125	1,715±0,120	1,758±0,123	1,502±0,105	2,167±0,152	1,673±0,117	2,031±0,142	1,825±0,128	1,968±0,138	1,570±0,110
154	1,853±0,130	1,794±0,126	1,829±0,128	1,567±0,110	2,236±0,157	1,728±0,121	2,086±0,146	1,938±0,136	2,055±0,144	1,695±0,119
Продолжительность хранения, сутки	**Ускоренное хранение при 45 °С**									
	Образец 1	**Образец 2**	**Образец 3**	**Образец 4**	**Образец 5**	**Образец 6**	**Образец 7**	**Образец 8**	**Образец 9**	**Образец 10**
0	0,102±0,010	0,083±0,008	0,093±0,009	0,025±0,003	0,146±0,015	0,041±0,004	0,108±0,011	0,053±0,005	0,119±0,012	0,034±0,003
7	0,234±0,023	0,308±0,031	0,361±0,036	0,113±0,011	0,408±0,041	0,123±0,012	0,299±0,030	0,121±0,012	0,435±0,044	0,100±0,010
14	0,493±0,049	0,526±0,037	0,606±0,042	0,244±0,024	0,733±0,051	0,354±0,035	0,641±0,045	0,203±0,020	0,927±0,065	0,251±0,025
21	0,912±0,064	0,817±0,057	0,924±0,065	0,538±0,038	1,320±0,092	0,792±0,055	1,320±0,092	0,514±0,036	1,764±0,123	0,694±0,049
28	1,547±0,108	1,274±0,089	1,318±0,092	0,914±0,064	1,947±0,136	1,523±0,107	2,174±0,152	0,967±0,068	3,752±0,263	1,033±0,072
35	2,480±0,174	1,932±0,135	2,203±0,154	1,687±0,118	3,549±0,248	2,498±0,175	3,652±0,256	1,522±0,107	3,946±0,276	1,629±0,114
42	3,691±0,258	2,805±0,196	3,544±0,248	2,554±0,179	5,813±0,407	4,513±0,316	5,947±0,416	2,487±0,174	3,503±0,245	2,247±0,157

Продолжение таблицы А.4

49	5,346±0,374	3,983±0,279	5,826±0,408	3,842±0,269	5,492±0,384	5,218±0,365	5,514±0,386	3,785±0,265	3,218±0,225	2,850±0,200
56	6,415±0,449	6,714±0,470	6,524±0,457	5,764±0,403	4,358±0,305	4,638±0,325	5,719±0,400	5,649±0,395	2,834±0,198	4,762±0,333
63	6,832±0,478	7,519±0,526	6,269±0,439	5,927±0,415	4,765±0,334	4,202±0,294	5,223±0,366	5,347±0,374	2,412±0,169	5,317±0,372
70	7,349±0,514	6,851±0,480	5,827±0,408	4,655±0,326	4,233±0,296	3,819±0,267	4,732±0,331	4,583±0,321	3,165±0,222	4,983±0,349
77	6,342±0,444	6,594±0,462	5,315±0,372	4,361±0,305	3,851±0,270	3,547±0,248	4,412±0,309	4,248±0,297	3,927±0,275	4,510±0,316
84	5,803±0,406	6,223±0,436	4,732±0,331	3,907±0,273	3,546±0,248	3,164±0,221	4,165±0,292	3,951±0,277	3,561±0,249	4,638±0,325
91	5,345±0,374	5,714±0,400	4,586±0,321	3,734±0,261	2,623±0,184	2,943±0,206	3,688±0,258	3,753±0,263	3,245±0,227	4,205±0,294
98	5,004±0,350	5,422±0,380	4,329±0,303	3,492±0,244	3,817±0,267	2,514±0,176	3,549±0,248	3,482±0,244	2,834±0,198	3,991±0,279
105	4,832±0,338	5,169±0,362	3,916±0,274	3,116±0,218	3,643±0,255	2,248±0,157	3,245±0,227	3,165±0,222	2,560±0,179	3,749±0,262
112	4,577±0,320	4,710±0,330	3,734±0,261	2,568±0,180	3,255±0,228	2,065±0,145	3,054±0,214	2,854±0,200	2,238±0,157	3,536±0,248
119	4,318±0,302	4,461±0,312	3,586±0,251	2,834±0,198	2,876±0,201	1,837±0,129	2,841±0,199	3,268±0,229	2,101±0,147	3,348±0,234
126	4,165±0,292	4,295±0,301	3,320±0,232	3,625±0,254	2,954±0,207	1,629±0,114	2,694±0,189	4,533±0,317	1,862±0,130	3,167±0,222
133	3,834±0,268	4,007±0,280	3,105±0,217	3,390±0,237	2,562±0,179	2,144±0,150	2,487±0,174	3,846±0,269	1,539±0,108	2,850±0,200
140	3,622±0,254	3,920±0,274	3,527±0,247	3,121±0,218	1,837±0,129	2,537±0,178	2,113±0,148	3,504±0,245	1,746±0,122	3,251±0,228
147	3,439±0,241	3,537±0,248	2,934±0,205	3,427±0,240	2,248±0,157	2,313±0,162	2,356±0,165	3,216±0,225	1,488±0,104	2,964±0,207
154	3,155±0,221	3,259±0,228	2,561±0,179	2,638±0,185	2,462±0,172	3,514±0,246	2,649±0,185	3,074±0,215	1,953±0,137	2,538±0,178
Продолжительность хранения, сутки	**Ускоренное хранение при 55 °С**									
	Образец 1	**Образец 2**	**Образец 3**	**Образец 4**	**Образец 5**	**Образец 6**	**Образец 7**	**Образец 8**	**Образец 9**	**Образец 10**
0	0,102±0,010	0,083±0,008	0,093±0,009	0,025±0,003	0,146±0,015	0,041±0,004	0,108±0,011	0,053±0,005	0,119±0,012	0,034±0,003
7	0,367±0,037	0,427±0,043	0,571±0,040	0,176±0,018	0,733±0,051	0,197±0,020	0,432±0,043	0,257±0,026	0,734±0,051	0,137±0,014
14	0,849±0,059	1,055±0,074	1,327±0,093	0,351±0,035	1,763±0,123	0,549±0,038	1,097±0,077	0,730±0,051	1,569±0,110	0,529±0,037
21	1,762±0,123	1,962±0,137	2,831±0,198	0,904±0,063	4,127±0,289	1,219±0,085	2,482±0,174	1,934±0,135	3,485±0,244	1,230±0,086
28	3,483±0,244	4,318±0,302	4,523±0,317	1,763±0,123	3,294±0,231	2,543±0,178	4,276±0,299	3,581±0,251	2,796±0,196	2,034±0,142
35	5,927±0,415	4,529±0,317	4,180±0,293	2,923±0,205	2,518±0,176	3,973±0,278	3,294±0,231	3,483±0,244	1,567±0,110	3,426±0,240
42	4,548±0,318	3,761±0,263	2,976±0,208	4,202±0,294	2,154±0,151	3,582±0,251	2,834±0,198	2,598±0,182	2,130±0,149	2,763±0,193
49	3,843±0,269	2,294±0,161	2,531±0,177	3,864±0,270	1,659±0,116	2,481±0,174	2,341±0,164	2,173±0,152	1,469±0,103	2,189±0,153
56	3,187±0,223	2,834±0,198	2,180±0,153	3,192±0,223	1,232±0,086	2,202±0,154	2,100±0,147	1,832±0,128	1,935±0,135	1,834±0,128
63	2,462±0,172	2,196±0,154	1,734±0,121	2,518±0,176	2,143±0,150	1,372±0,096	1,867±0,131	1,507±0,105	2,534±0,177	2,964±0,207

Продолжение таблицы А.4

70	1,834±0,128	1,637±0,115	1,338±0,094	2,137±0,150	2,846±0,199	1,863±0,130	1,234±0,086	1,261±0,088	2,318±0,162	2,248±0,157
77	1,358±0,095	1,320±0,092	1,934±0,135	2,893±0,203	2,355±0,165	2,461±0,172	1,732±0,121	2,532±0,177	1,897±0,133	1,673±0,117
84	2,154±0,151	1,077±0,075	2,614±0,183	1,834±0,128	1,543±0,108	1,937±0,136	2,104±0,147	2,160±0,151	1,562±0,109	1,904±0,133
91	2,319±0,162	1,342±0,094	2,316±0,162	1,248±0,087	1,893±0,133	1,530±0,107	2,561±0,179	1,934±0,135	1,302±0,091	2,431±0,170
98	1,967±0,138	1,834±0,128	2,054±0,144	2,120±0,148	2,154±0,151	1,897±0,133	1,638±0,115	2,345±0,164	1,765±0,124	1,827±0,128
105	1,563±0,109	2,137±0,150	1,730±0,121	2,681±0,188	2,079±0,146	2,154±0,151	1,970±0,138	2,879±0,202	1,983±0,139	1,294±0,091
112	2,743±0,192	2,752±0,193	2,255±0,158	2,533±0,177	2,439±0,171	2,384±0,167	2,437±0,171	2,451±0,172	2,430±0,170	0,834±0,058
119	2,167±0,152	2,701±0,189	2,973±0,208	2,187±0,153	1,905±0,133	2,967±0,208	2,312±0,162	2,830±0,198	2,024±0,142	1,353±0,095
126	1,830±0,128	2,348±0,164	2,431±0,170	1,765±0,124	2,469±0,173	2,581±0,181	1,673±0,117	2,134±0,149	1,532±0,107	1,744±0,122
133	2,246±0,157	1,837±0,129	2,186±0,153	2,451±0,172	2,973±0,208	2,089±0,146	1,205±0,084	1,834±0,128	1,024±0,072	2,462±0,172
140	2,537±0,178	2,069±0,145	2,547±0,178	1,692±0,118	2,467±0,173	1,937±0,136	0,972±0,068	1,296±0,091	1,562±0,109	1,825±0,128
147	2,164±0,151	2,543±0,178	2,349±0,164	2,430±0,170	2,149±0,150	1,418±0,099	1,532±0,107	1,805±0,126	0,834±0,058	0,934±0,065
154	1,837±0,129	2,188±0,153	1,946±0,136	2,212±0,155	1,435±0,100	1,673±0,117	1,347±0,094	1,649±0,115	1,016±0,071	1,248±0,087

Источник: составлено автором

Таблица А.5 – Результаты определения содержания конъюгированных диенов в масле ядер грецких орехов, ммоль/л

Продолжительность хранения, сутки	**Хранение при 20 °С**									
	Образец 1	**Образец 2**	**Образец 3**	**Образец 4**	**Образец 5**	**Образец 6**	**Образец 7**	**Образец 8**	**Образец 9**	**Образец 10**
0	1,849±0,092	1,396±0,070	1,537±0,077	0,943±0,047	2,348±0,117	1,084±0,054	1,437±0,072	1,109±0,055	1,638±0,082	0,821±0,041
7	1,879±0,094	1,452±0,073	1,582±0,079	0,972±0,049	2,420±0,121	1,113±0,056	1,495±0,075	1,150±0,058	1,712±0,086	0,855±0,043
14	1,926±0,096	1,492±0,075	1,624±0,081	1,001±0,050	2,487±0,124	1,150±0,058	1,550±0,078	1,188±0,059	1,785±0,089	0,891±0,045
21	1,958±0,098	1,562±0,078	1,673±0,084	1,044±0,052	2,563±0,128	1,194±0,060	1,604±0,080	1,234±0,062	1,852±0,093	0,924±0,046
28	1,981±0,099	1,613±0,081	1,722±0,086	1,073±0,054	2,649±0,132	1,228±0,061	1,678±0,084	1,268±0,063	1,928±0,096	0,963±0,048

Продолжение таблицы А.5

35	2,037±0,102	1,664±0,083	1,769±0,088	1,120±0,056	2,718±0,136	1,264±0,063	1,742±0,087	1,289±0,064	1,991±0,100	1,008±0,050
42	2,101±0,105	1,729±0,086	1,820±0,091	1,167±0,058	2,824±0,141	1,297±0,065	1,820±0,091	1,332±0,067	2,064±0,103	1,041±0,052
49	2,169±0,108	1,770±0,089	1,873±0,094	1,209±0,060	2,935±0,147	1,336±0,067	1,856±0,093	1,361±0,068	2,117±0,106	1,069±0,053
56	2,249±0,112	1,853±0,093	1,910±0,096	1,274±0,064	3,046±0,152	1,371±0,069	1,903±0,095	1,402±0,070	2,180±0,109	1,120±0,056
63	2,311±0,116	1,908±0,095	1,968±0,098	1,342±0,067	3,130±0,157	1,401±0,070	1,968±0,098	1,435±0,072	2,264±0,113	1,163±0,058
70	2,375±0,119	1,962±0,098	2,012±0,101	1,385±0,069	3,222±0,161	1,438±0,072	2,024±0,101	1,479±0,074	2,335±0,117	1,197±0,060
77	2,431±0,122	2,033±0,102	2,074±0,104	1,459±0,073	3,299±0,165	1,480±0,074	2,088±0,104	1,527±0,076	2,416±0,121	1,233±0,062
84	2,488±0,124	2,107±0,105	2,133±0,107	1,518±0,076	3,376±0,169	1,523±0,076	2,163±0,108	1,539±0,077	2,481±0,124	1,284±0,064
91	2,540±0,127	2,183±0,109	2,189±0,109	1,560±0,078	3,450±0,173	1,562±0,078	2,235±0,112	1,582±0,079	2,559±0,128	1,365±0,068
98	2,599±0,130	2,255±0,113	2,258±0,113	1,613±0,081	3,566±0,178	1,598±0,080	2,313±0,116	1,637±0,082	2,627±0,131	1,418±0,071
105	2,673±0,134	2,327±0,116	2,334±0,117	1,670±0,084	3,641±0,182	1,647±0,082	2,394±0,120	1,694±0,085	2,688±0,134	1,491±0,075
112	2,714±0,136	2,401±0,120	2,483±0,124	1,722±0,086	3,728±0,186	1,693±0,085	2,477±0,124	1,752±0,088	2,751±0,138	1,573±0,079
119	2,776±0,139	2,454±0,123	2,567±0,128	1,774±0,089	3,818±0,191	1,745±0,087	2,559±0,128	1,820±0,091	2,833±0,142	1,616±0,081
126	2,845±0,142	2,519±0,126	2,634±0,132	1,853±0,093	3,903±0,195	1,785±0,089	2,634±0,132	1,893±0,095	2,909±0,145	1,677±0,084
133	2,920±0,146	2,568±0,128	2,712±0,136	1,936±0,097	4,062±0,203	1,853±0,093	2,742±0,137	1,964±0,098	2,994±0,150	1,723±0,086
140	2,981±0,149	2,734±0,137	2,780±0,139	2,012±0,101	4,164±0,208	1,924±0,096	2,812±0,141	2,075±0,104	3,115±0,156	1,780±0,089
147	3,054±0,153	2,775±0,139	2,853±0,143	2,084±0,104	4,283±0,214	1,996±0,100	2,895±0,145	2,163±0,108	3,167±0,158	1,826±0,091
154	3,129±0,156	2,830±0,142	2,927±0,146	2,193±0,110	4,397±0,220	2,103±0,105	2,981±0,149	2,227±0,111	3,285±0,164	1,884±0,094
Продолжитель-ность хранения, сутки	**Ускоренное хранение при 35 °С**									
	Образец 1	**Образец 2**	**Образец 3**	**Образец 4**	**Образец 5**	**Образец 6**	**Образец 7**	**Образец 8**	**Образец 9**	**Образец 10**
0	1,849±0,092	1,396±0,070	1,537±0,077	0,943±0,047	2,348±0,117	1,084±0,054	1,437±0,072	1,109±0,055	1,638±0,082	0,821±0,041
7	1,906±0,095	1,442±0,072	1,612±0,081	0,981±0,049	2,419±0,121	1,121±0,056	1,515±0,076	1,155±0,058	1,674±0,084	0,873±0,044
14	1,998±0,100	1,485±0,074	1,728±0,086	1,053±0,053	2,569±0,128	1,175±0,059	1,623±0,081	1,204±0,060	1,722±0,086	0,921±0,046
21	2,123±0,106	1,554±0,078	1,814±0,091	1,094±0,055	2,761±0,138	1,239±0,062	1,749±0,087	1,264±0,063	1,769±0,088	0,970±0,049
28	2,248±0,112	1,618±0,081	1,926±0,096	1,167±0,058	3,096±0,155	1,301±0,065	1,892±0,095	1,319±0,066	1,804±0,090	1,019±0,051
35	2,367±0,118	1,687±0,084	1,997±0,100	1,219±0,061	3,485±0,174	1,384±0,069	2,134±0,107	1,370±0,069	1,853±0,093	1,077±0,054
42	2,495±0,125	1,753±0,088	2,132±0,107	1,299±0,065	3,947±0,197	1,496±0,075	2,320±0,116	1,414±0,071	1,896±0,095	1,236±0,062

Продолжение таблицы А.5

49	2,628±0,131	1,804±0,090	2,208±0,110	1,384±0,069	4,832±0,242	1,624±0,081	2,582±0,129	1,462±0,073	1,940±0,097	1,297±0,065
56	2,733±0,137	1,889±0,094	2,284±0,114	1,442±0,072	5,964±0,298	1,775±0,089	2,941±0,147	1,553±0,078	2,007±0,100	1,385±0,069
63	2,886±0,144	1,960±0,098	2,357±0,118	1,529±0,076	7,248±0,362	1,934±0,097	3,249±0,162	1,619±0,081	2,169±0,108	1,449±0,072
70	3,054±0,153	2,041±0,102	2,496±0,125	1,603±0,080	8,426±0,421	2,221±0,111	3,582±0,179	1,667±0,083	2,541±0,127	1,630±0,082
77	3,229±0,161	2,159±0,108	2,771±0,139	1,814±0,091	9,720±0,486	2,539±0,127	3,967±0,198	1,752±0,088	2,963±0,148	1,829±0,091
84	3,547±0,177	2,283±0,114	3,064±0,153	2,003±0,100	11,364±0,568	2,748±0,137	4,496±0,225	1,934±0,097	3,518±0,176	2,063±0,103
91	3,725±0,186	2,374±0,119	3,527±0,176	2,349±0,117	12,842±0,642	2,934±0,147	4,830±0,242	2,164±0,108	4,284±0,214	2,261±0,113
98	4,116±0,206	2,515±0,126	3,940±0,197	2,843±0,142	15,493±0,775	3,164±0,158	5,530±0,277	2,348±0,117	4,950±0,248	2,503±0,125
105	4,592±0,230	2,678±0,134	4,597±0,230	3,185±0,159	14,284±0,714	3,348±0,167	6,294±0,315	2,671±0,134	5,846±0,292	2,946±0,147
112	4,920±0,246	2,806±0,140	5,192±0,260	3,496±0,175	13,682±0,684	3,519±0,176	7,064±0,353	2,863±0,143	6,803±0,340	3,582±0,179
119	5,597±0,280	3,194±0,160	5,864±0,293	3,948±0,197	13,264±0,663	3,843±0,192	7,531±0,377	3,247±0,162	7,544±0,377	3,846±0,192
126	6,249±0,312	3,756±0,188	6,763±0,338	4,412±0,221	12,395±0,620	4,201±0,210	8,112±0,406	3,693±0,185	8,364±0,418	4,251±0,213
133	6,843±0,342	4,348±0,217	7,591±0,380	4,962±0,248	11,967±0,598	4,569±0,228	8,593±0,430	4,187±0,209	9,408±0,470	4,983±0,249
140	7,519±0,376	4,822±0,241	8,834±0,442	5,534±0,277	11,528±0,576	4,982±0,249	9,482±0,474	4,780±0,239	10,649±0,532	5,530±0,277
147	8,438±0,422	5,596±0,280	10,185±0,509	6,117±0,306	11,068±0,553	5,347±0,267	10,067±0,503	5,319±0,266	12,248±0,612	6,314±0,316
154	9,521±0,476	6,487±0,324	10,938±0,547	6,824±0,341	10,642±0,532	5,802±0,290	10,482±0,524	5,909±0,295	13,678±0,684	7,264±0,363
Продолжитель-ность хранения, сутки	**Ускоренное хранение при 45 °С**									
	Образец 1	**Образец 2**	**Образец 3**	**Образец 4**	**Образец 5**	**Образец 6**	**Образец 7**	**Образец 8**	**Образец 9**	**Образец 10**
0	1,849±0,092	1,396±0,070	1,537±0,077	0,943±0,047	2,348±0,117	1,084±0,054	1,437±0,072	1,109±0,055	1,638±0,082	0,821±0,041
7	1,978±0,099	1,527±0,076	1,751±0,088	1,034±0,052	2,731±0,137	1,234±0,062	1,731±0,087	1,210±0,061	1,789±0,089	0,964±0,048
14	2,304±0,115	1,819±0,091	2,052±0,103	1,306±0,065	3,452±0,173	1,503±0,075	2,054±0,103	1,574±0,079	2,134±0,107	1,235±0,062
21	2,765±0,138	2,340±0,117	2,513±0,126	1,719±0,086	4,032±0,202	1,975±0,099	2,563±0,128	1,902±0,095	2,517±0,126	1,532±0,077
28	3,641±0,182	3,064±0,153	3,427±0,171	2,201±0,110	4,942±0,247	2,718±0,136	3,214±0,161	2,513±0,126	3,249±0,162	1,830±0,092
35	5,249±0,262	3,987±0,199	4,009±0,200	2,954±0,148	7,184±0,359	3,561±0,178	3,961±0,198	3,217±0,161	3,982±0,199	2,432±0,122
42	7,382±0,369	5,117±0,256	4,922±0,246	3,766±0,188	9,281±0,464	4,863±0,243	5,064±0,253	4,518±0,226	5,864±0,293	3,075±0,154
49	9,647±0,482	7,345±0,367	6,854±0,343	6,284±0,314	10,973±0,549	6,872±0,344	7,528±0,376	6,793±0,340	7,324±0,366	3,861±0,193
56	10,340±0,517	9,382±0,469	8,623±0,431	8,061±0,403	12,341±0,617	9,312±0,466	10,461±0,523	9,134±0,457	9,628±0,481	4,721±0,236

Продолжение таблицы А.5

63	11,418±0,571	10,802±0,540	10,217±0,511	9,597±0,480	11,793±0,590	11,034±0,552	13,286±0,664	12,371±0,619	13,482±0,674	7,306±0,365
70	12,047±0,602	12,357±0,618	11,203±0,560	11,638±0,582	12,064±0,603	11,845±0,592	13,418±0,671	13,964±0,698	12,670±0,634	9,628±0,481
77	11,472±0,574	12,034±0,602	12,528±0,626	11,034±0,552	11,712±0,586	11,346±0,567	12,761±0,638	14,530±0,727	12,094±0,605	12,034±0,602
84	12,683±0,634	13,953±0,698	12,329±0,616	11,876±0,594	11,530±0,577	10,861±0,543	12,358±0,618	13,765±0,688	10,375±0,519	13,280±0,664
91	12,348±0,617	11,843±0,592	14,305±0,715	11,324±0,566	10,834±0,542	12,648±0,632	11,964±0,598	13,561±0,678	11,652±0,583	12,376±0,619
98	10,328±0,516	12,507±0,625	13,264±0,663	10,835±0,542	11,147±0,557	12,247±0,612	11,327±0,566	12,864±0,643	11,791±0,590	12,743±0,637
105	13,820±0,691	12,482±0,624	13,853±0,693	10,312±0,516	12,062±0,603	11,682±0,584	10,641±0,532	12,532±0,627	12,358±0,618	12,286±0,614
112	11,348±0,567	11,964±0,598	12,064±0,603	11,453±0,573	11,834±0,592	11,085±0,554	10,238±0,512	12,037±0,602	10,762±0,538	11,375±0,569
119	11,634±0,582	11,248±0,562	12,845±0,642	10,975±0,549	11,527±0,576	11,533±0,577	9,671±0,484	11,675±0,584	9,284±0,464	11,690±0,585
126	10,179±0,509	12,344±0,617	12,570±0,629	10,203±0,510	11,147±0,557	10,751±0,538	9,324±0,466	11,138±0,557	8,862±0,443	13,755±0,688
133	10,389±0,519	11,067±0,553	11,326±0,566	9,541±0,477	10,352±0,518	10,359±0,518	10,357±0,518	11,943±0,597	9,628±0,481	13,203±0,660
140	11,247±0,562	10,340±0,517	10,821±0,541	9,635±0,482	10,763±0,538	9,921±0,496	8,321±0,416	10,325±0,516	10,345±0,517	12,549±0,627
147	12,064±0,603	10,725±0,536	11,206±0,560	10,485±0,524	11,248±0,562	9,240±0,462	8,955±0,448	9,614±0,481	9,341±0,467	12,284±0,614
154	10,035±0,502	9,054±0,453	10,973±0,549	10,648±0,532	11,562±0,578	8,563±0,428	9,341±0,467	10,340±0,517	9,582±0,479	11,633±0,582
Продолжитель-ность хранения, сутки	**Ускоренное хранение при 55 °С**									
	Образец 1	**Образец 2**	**Образец 3**	**Образец 4**	**Образец 5**	**Образец 6**	**Образец 7**	**Образец 8**	**Образец 9**	**Образец 10**
0	1,849±0,092	1,396±0,070	1,537±0,077	0,943±0,047	2,348±0,117	1,084±0,054	1,437±0,072	1,109±0,055	1,638±0,082	0,821±0,041
7	2,134±0,107	1,712±0,086	1,933±0,097	1,157±0,058	3,219±0,161	1,417±0,071	1,965±0,098	1,364±0,068	1,988±0,099	1,067±0,053
14	2,861±0,143	2,225±0,111	2,441±0,122	1,526±0,076	4,852±0,243	1,926±0,096	2,548±0,127	1,750±0,088	2,543±0,127	1,313±0,066
21	3,962±0,198	2,947±0,147	4,219±0,211	1,934±0,097	7,649±0,382	2,824±0,141	3,951±0,198	2,432±0,122	3,128±0,156	1,741±0,087
28	6,187±0,309	3,811±0,191	6,845±0,342	2,855±0,143	10,247±0,512	4,203±0,210	6,743±0,337	3,208±0,160	3,945±0,197	2,349±0,117
35	9,685±0,484	6,349±0,317	8,912±0,446	4,672±0,234	14,212±0,711	6,852±0,343	8,211±0,411	4,512±0,226	5,732±0,287	3,002±0,150
42	13,258±0,663	8,571±0,429	11,247±0,562	6,914±0,346	11,845±0,592	9,358±0,468	11,345±0,567	5,921±0,296	7,524±0,376	3,975±0,199
49	12,482±0,624	11,324±0,566	13,635±0,682	9,517±0,476	12,634±0,632	12,471±0,624	13,657±0,683	8,471±0,424	10,652±0,533	5,248±0,262
56	9,264±0,463	14,522±0,726	12,586±0,629	13,624±0,681	10,876±0,544	11,250±0,563	10,524±0,526	11,635±0,582	12,482±0,624	7,345±0,367
63	7,208±0,360	13,968±0,698	10,432±0,522	11,321±0,566	8,201±0,410	9,628±0,481	9,673±0,484	14,812±0,741	13,647±0,682	10,517±0,526
70	5,619±0,281	11,325±0,566	7,818±0,391	10,759±0,538	5,973±0,299	5,527±0,276	8,514±0,426	12,911±0,646	11,530±0,577	13,642±0,682

Продолжение таблицы А.5

77	6,281±0,314	10,524±0,526	5,324±0,266	8,462±0,423	7,526±0,376	4,932±0,247	8,923±0,446	10,354±0,518	9,542±0,477	12,755±0,638
84	4,320±0,216	8,633±0,432	3,615±0,181	5,977±0,299	6,951±0,348	4,228±0,211	8,227±0,411	9,817±0,491	8,341±0,417	10,348±0,517
91	5,387±0,269	7,520±0,376	2,947±0,147	7,249±0,362	5,348±0,267	5,347±0,267	7,649±0,382	9,110±0,456	7,943±0,397	8,249±0,412
98	6,319±0,316	5,986±0,299	3,851±0,193	6,505±0,325	5,084±0,254	5,174±0,259	7,348±0,367	8,434±0,422	6,521±0,326	7,643±0,382
105	5,402±0,270	5,743±0,287	3,210±0,161	5,379±0,269	4,629±0,231	4,530±0,227	7,812±0,391	7,512±0,376	4,813±0,241	5,201±0,260
112	5,037±0,252	5,218±0,261	2,895±0,145	5,714±0,286	5,233±0,262	4,082±0,204	6,854±0,343	6,814±0,341	5,649±0,282	4,532±0,227
119	5,834±0,292	6,716±0,336	3,646±0,182	5,023±0,251	4,670±0,234	3,516±0,176	6,530±0,327	5,372±0,269	3,527±0,176	5,894±0,295
126	5,267±0,263	6,594±0,330	3,248±0,162	4,126±0,206	4,995±0,250	3,122±0,156	5,876±0,294	3,158±0,158	4,834±0,242	5,314±0,266
133	4,258±0,213	7,183±0,359	4,527±0,226	3,480±0,174	4,208±0,210	3,950±0,198	5,514±0,276	4,673±0,234	4,285±0,214	4,672±0,234
140	4,961±0,248	7,522±0,376	3,702±0,185	4,953±0,248	3,774±0,189	4,823±0,241	5,065±0,253	4,038±0,202	3,641±0,182	4,203±0,210
147	5,549±0,277	7,318±0,366	3,534±0,177	4,538±0,227	3,916±0,196	5,617±0,281	4,913±0,246	3,515±0,176	3,050±0,153	3,855±0,193
154	5,173±0,259	6,542±0,327	3,125±0,156	4,231±0,212	3,201±0,160	5,328±0,266	5,247±0,262	3,973±0,199	2,941±0,147	4,519±0,226

Источник: составлено автором

Таблица А.6 – Результаты определения содержания пропаналя и гексаналя в образцах ядер грецких орехов, мкг/кг орехов

Продолжительность хранения при 20 °С, сутки	**Образец 4**		**Образец 6**		**Образец 8**		**Образец 10**	
	Пропаналь	**Гексаналь**	**Пропаналь**	**Гексаналь**	**Пропаналь**	**Гексаналь**	**Пропаналь**	**Гексаналь**
0	0,62±0,04	1,73±0,12	0,33±0,02	0,93±0,07	0,76±0,05	1,29±0,09	0,26±0,02	0,64±0,04
7	0,74±0,05	1,94±0,14	0,34±0,02	1,24±0,09	0,95±0,07	1,33±0,09	0,43±0,03	0,99±0,07
14	0,99±0,07	2,29±0,16	0,48±0,03	1,55±0,11	1,04±0,07	1,44±0,10	0,54±0,04	1,15±0,08
21	1,55±0,11	2,98±0,21	1,12±0,08	1,72±0,12	1,77±0,12	1,78±0,12	1,28±0,09	1,33±0,09
28	2,73±0,19	3,32±0,23	2,75±0,19	2,18±0,15	3,93±0,28	2,20±0,15	2,95±0,21	1,91±0,13
35	11,97±0,84	3,77±0,26	4,91±0,34	2,57±0,18	7,42±0,52	3,12±0,22	5,10±0,36	2,82±0,20
42	12,48±0,87	4,55±0,32	7,09±0,50	3,21±0,22	10,81±0,76	4,84±0,34	7,82±0,55	4,08±0,29

Продолжение таблицы А.6

49	16,06±1,12	5,9±0,410	11,3±0,79	4,06±0,28	13,59±0,95	5,76±0,40	13,29±0,93	5,50±0,39
56	18,54±1,30	6,43±0,45	16,47±1,15	5,35±0,37	14,90±1,04	7,05±0,49	15,61±1,09	6,39±0,45
63	22,45±1,57	7,31±0,51	19,86±1,39	6,49±0,45	16,72±1,17	8,29±0,58	18,24±1,28	7,04±0,49
70	25,19±1,76	9,05±0,63	22,45±1,57	8,54±0,60	20,14±1,41	9,57±0,67	20,46±1,43	8,16±0,57
77	29,4±2,060	10,29±0,72	25,32±1,77	11,23±0,79	24,66±1,73	11,13±0,78	23,93±1,68	10,27±0,72
84	33,84±2,37	13,34±0,93	28,03±1,96	14,92±1,04	26,53±1,86	13,72±0,96	25,58±1,79	12,65±0,89
91	36,13±2,53	15,83±1,11	30,74±2,15	18,45±1,29	31,45±2,20	16,55±1,16	29,65±2,08	13,72±0,96
98	38,55±2,70	17,45±1,22	33,55±2,35	22,09±1,55	37,38±2,62	19,49±1,36	31,70±2,22	15,01±1,05
105	40,62±2,84	19,29±1,35	35,82±2,51	25,76±1,80	41,87±2,93	22,31±1,56	33,43±2,34	17,36±1,22
112	43,71±3,06	20,48±1,43	37,49±2,62	27,33±1,91	44,39±3,11	24,08±1,69	35,04±2,45	18,99±1,33
119	45,99±3,22	21,67±1,52	39,18±2,74	29,64±2,07	49,54±3,47	27,10±1,90	36,99±2,59	21,28±1,49
126	48,74±3,41	22,43±1,57	42,87±3,00	31,82±2,23	52,82±3,70	28,71±2,01	39,78±2,78	23,55±1,65
133	52,15±3,65	24,05±1,68	44,46±3,11	33,93±2,38	55,13±3,86	30,45±2,13	40,87±2,86	25,43±1,78
140	57,36±4,02	26,30±1,84	47,63±3,33	36,19±2,53	57,96±4,06	33,63±2,35	42,53±2,98	28,04±1,96
147	60,87±4,26	28,11±1,97	50,05±3,50	39,25±2,75	60,25±4,22	34,74±2,43	48,15±3,37	32,69±2,29
154	65,23±4,57	30,26±2,12	52,44±3,67	43,81±3,07	63,01±4,41	35,28±2,47	55,36±3,88	34,85±2,44
Продолжительность хранения при 35 °С, сутки	**Образец 4**		**Образец 6**		**Образец 8**		**Образец 10**	
	Пропаналь	**Гексаналь**	**Пропаналь**	**Гексаналь**	**Пропаналь**	**Гексаналь**	**Пропаналь**	**Гексаналь**
0	0,62±0,04	1,73±0,12	0,33±0,02	0,93±0,07	0,76±0,05	1,29±0,09	0,26±0,02	0,64±0,04
7	0,62±0,04	1,73±0,12	0,33±0,02	0,93±0,07	0,76±0,05	1,29±0,09	0,26±0,02	0,64±0,04
14	0,94±0,07	2,36±0,17	0,83±0,06	1,33±0,09	1,93±0,14	1,83±0,13	0,73±0,05	0,96±0,07
21	2,15±0,15	5,43±0,38	2,50±0,18	3,24±0,23	5,04±0,35	3,01±0,21	2,64±0,18	1,53±0,11
28	5,99±0,42	8,94±0,63	7,49±0,52	5,65±0,40	11,68±0,82	5,29±0,37	7,49±0,52	4,41±0,31
35	11,47±0,80	12,55±0,88	12,95±0,91	8,40±0,59	18,45±1,29	9,40±0,66	16,55±1,16	10,34±0,72
42	18,33±1,28	15,30±1,07	19,24±1,35	12,99±0,91	27,30±1,91	13,85±0,97	22,80±1,60	13,80±0,97
49	27,02±1,89	17,12±1,20	25,47±1,78	16,08±1,13	39,56±2,77	19,34±1,35	33,63±2,35	16,49±1,15
56	35,86±2,51	19,59±1,37	31,63±2,21	21,77±1,52	44,14±3,09	22,46±1,57	40,91±2,86	19,95±1,40
63	44,61±3,12	22,67±1,59	39,32±2,75	24,33±1,70	53,62±3,75	28,63±2,00	47,36±3,32	23,07±1,61

Продолжение таблицы А.6

70	53,93±3,78	24,85±1,74	48,06±3,36	29,72±2,08	58,49±4,09	32,47±2,27	51,25±3,59	27,83±1,95
77	62,25±4,36	28,06±1,96	59,11±4,14	38,56±2,70	72,25±5,06	40,18±2,81	60,49±4,23	32,42±2,27
84	74,84±5,24	33,44±2,34	68,35±4,78	47,64±3,33	90,57±6,34	52,49±3,67	77,27±5,41	35,96±2,52
91	90,59±6,34	45,93±3,22	85,09±5,96	60,22±4,22	112,78±7,89	66,34±4,64	89,65±6,28	41,74±2,92
98	111,32±7,79	53,11±3,72	98,34±6,88	74,86±5,24	130,93±9,17	72,15±5,05	101,43±7,10	47,29±3,31
105	134,42±9,41	61,49±4,30	121,73±8,52	78,34±5,48	144,21±10,09	85,93±6,02	120,84±8,46	55,60±3,89
112	146,89±10,28	68,38±4,79	129,42±9,06	85,49±5,98	149,56±10,47	91,41±6,40	131,59±9,21	68,41±4,79
119	152,45±10,67	75,95±5,32	137,56±9,63	91,80±6,43	155,34±10,87	103,96±7,28	139,65±9,78	76,56±5,36
126	160,70±11,25	87,23±6,11	142,41±9,97	96,22±6,74	157,63±11,03	111,72±7,82	144,33±10,10	83,08±5,82
133	169,43±11,86	98,44±6,89	157,89±11,05	103,83±7,27	160,52±11,24	115,45±8,08	153,71±10,76	95,35±6,67
140	173,94±12,18	116,56±8,16	162,85±11,40	105,34±7,37	162,46±11,37	118,29±8,28	161,25±11,29	112,83±7,90
147	176,26±12,34	129,45±9,06	170,94±11,97	111,95±7,84	163,34±11,43	121,94±8,54	168,39±11,79	124,94±8,75
154	178,03±12,46	145,71±10,2	174,83±12,24	128,41±8,99	165,78±11,60	123,53±8,65	173,44±12,14	140,79±9,86
Продолжительность хранения при 45 °С, сутки	**Образец 4**		**Образец 6**		**Образец 8**		**Образец 10**	
	Пропаналь	**Гексаналь**	**Пропаналь**	**Гексаналь**	**Пропаналь**	**Гексаналь**	**Пропаналь**	**Гексаналь**
0	0,62±0,04	1,73±0,12	0,33±0,02	0,93±0,07	0,76±0,05	1,29±0,09	0,26±0,02	0,64±0,04
7	1,12±0,08	3,86±0,27	1,25±0,09	1,95±0,14	3,15±0,22	2,45±0,17	1,06±0,07	1,56±0,11
14	2,34±0,16	10,55±0,74	3,51±0,25	6,84±0,48	8,53±0,60	9,64±0,67	3,25±0,23	3,85±0,27
21	6,99±0,49	18,63±1,30	9,83±0,69	15,33±1,07	14,44±1,01	12,33±0,86	8,40±0,59	10,44±0,73
28	15,46±1,08	30,71±2,15	21,42±1,50	27,42±1,92	20,59±1,44	20,50±1,44	15,74±1,1	19,33±1,35
35	28,73±2,01	43,81±3,07	33,64±2,35	42,19±2,95	31,77±2,22	37,89±2,65	28,63±2,00	34,80±2,44
42	45,25±3,17	62,99±4,41	50,89±3,56	65,98±4,62	42,60±2,98	50,98±3,57	35,82±2,51	49,32±3,45
49	73,48±5,14	84,54±5,92	69,40±4,86	94,07±6,58	59,05±4,13	74,63±5,22	50,19±3,51	71,59±5,01
56	102,04±7,14	113,22±7,93	93,38±6,54	125,63±8,79	78,44±5,49	92,75±6,49	83,48±5,84	102,45±7,17
63	131,42±9,20	142,70±9,99	120,57±8,44	154,85±10,84	97,63±6,83	131,61±9,21	118,67±8,31	136,58±9,56
70	159,80±11,19	168,08±11,77	154,96±10,85	182,71±12,79	134,52±9,42	174,59±12,22	144,53±10,12	180,17±12,61
77	197,55±13,83	203,55±14,25	188,12±13,17	223,96±15,68	159,89±11,19	210,95±14,77	182,02±12,74	220,36±15,43
84	215,36±15,08	249,64±17,47	236,74±16,57	257,64±18,03	182,47±12,77	234,64±16,42	212,65±14,89	253,73±17,76

Продолжение таблицы А.6

91	239,49±16,76	311,89±21,83	258,45±18,09	294,62±20,62	221,33±15,49	285,37±19,98	235,91±16,51	279,14±19,54
98	266,83±18,68	352,43±24,67	301,20±21,08	335,19±23,46	255,98±17,92	320,83±22,46	254,39±17,81	302,41±21,17
105	305,94±21,42	415,62±29,09	339,49±23,76	378,40±26,49	284,72±19,93	351,72±24,62	271,26±18,99	336,55±23,56
112	347,19±24,30	483,70±33,86	375,16±26,26	422,53±29,58	320,24±22,42	394,56±27,62	298,53±20,90	378,29±26,48
119	371,53±26,01	513,51±35,95	406,23±28,44	450,72±31,55	348,05±24,36	422,81±29,60	330,22±23,12	408,63±28,60
126	403,91±28,27	542,88±38,00	433,64±30,35	483,91±33,87	382,56±26,78	451,68±31,62	357,21±25,00	432,95±30,31
133	434,73±30,43	574,69±40,23	459,16±32,14	522,84±36,60	404,69±28,33	480,23±33,62	384,44±26,91	458,34±32,08
140	450,32±31,52	611,55±42,81	480,75±33,65	551,65±38,62	438,13±30,67	509,42±35,66	413,50±28,95	491,58±34,41
147	471,64±33,01	633,81±44,37	512,54±35,88	583,48±40,84	462,34±32,36	533,01±37,31	441,35±30,89	520,33±36,42
154	502,19±35,15	657,24±46,01	533,49±37,34	618,53±43,30	491,71±34,42	558,38±39,09	475,89±33,31	548,75±38,41
Продолжительность хранения при 55 °С, сутки	**Образец 4**		**Образец 6**		**Образец 8**		**Образец 10**	
	Пропаналь	**Гексаналь**	**Пропаналь**	**Гексаналь**	**Пропаналь**	**Гексаналь**	**Пропаналь**	**Гексаналь**
0	0,62±0,04	1,73±0,12	0,33±0,02	0,93±0,07	0,76±0,05	1,29±0,09	0,26±0,02	0,64±0,04
7	1,56±0,11	4,93±0,35	1,74±0,12	3,05±0,21	4,36±0,31	2,96±0,21	1,84±0,13	2,43±0,17
14	3,75±0,26	15,34±1,07	5,83±0,41	11,54±0,81	11,85±0,83	12,55±0,88	5,46±0,38	7,35±0,51
21	10,94±0,77	32,62±2,28	13,42±0,94	24,73±1,73	20,54±1,44	27,64±1,93	12,33±0,86	18,4±1,29
28	24,53±1,72	73,89±5,17	23,69±1,66	33,80±2,37	36,99±2,59	39,32±2,75	21,72±1,52	35,96±2,52
35	36,99±2,59	119,55±8,37	54,98±3,85	51,22±3,59	48,47±3,39	74,83±5,24	34,99±2,45	78,34±5,48
42	67,82±4,75	152,46±10,67	83,57±5,85	84,99±5,95	92,33±6,46	119,49±8,36	80,50±5,64	119,62±8,37
49	101,38±7,10	183,67±12,86	116,86±8,18	133,75±9,36	134,52±9,42	152,78±10,69	123,65±8,66	158,29±11,08
56	145,74±10,20	215,33±15,07	154,93±10,85	172,58±12,08	172,95±12,11	193,80±13,57	174,81±12,24	194,78±13,63
63	173,43±12,14	257,82±18,05	192,75±13,49	218,43±15,29	208,49±14,59	234,21±16,39	223,53±15,65	235,47±16,48
70	213,51±14,95	300,40±21,03	233,61±16,35	249,34±17,45	236,70±16,57	271,69±19,02	259,15±18,14	273,86±19,17
77	255,10±17,86	349,61±24,47	275,39±19,28	270,19±18,91	265,11±18,56	305,38±21,38	293,79±20,57	313,63±21,95
84	296,39±20,75	381,29±26,69	318,55±22,30	305,06±21,35	287,34±20,11	344,77±24,13	335,23±23,47	342,75±23,99
91	334,05±23,38	433,88±30,37	350,13±24,51	341,64±23,91	326,46±22,85	379,55±26,57	374,84±26,24	375,14±26,26
98	371,88±26,03	471,23±32,99	384,27±26,90	376,28±26,34	361,73±25,32	420,63±29,44	404,58±28,32	412,00±28,84
105	412,66±28,89	506,44±35,45	423,58±29,65	433,63±30,35	395,85±27,71	461,91±32,33	439,67±30,78	444,93±31,15
112	438,53±30,70	543,75±38,06	461,76±32,32	480,41±33,63	430,59±30,14	495,36±34,68	473,83±33,17	482,52±33,78
119	473,84±33,17	594,62±41,62	500,24±35,02	522,55±36,58	471,97±33,04	534,74±37,43	512,42±35,87	532,86±37,30

Продолжение таблицы А.6

126	522,65±36,59	635,06±44,45	537,43±37,62	561,98±39,34	502,45±35,17	558,05±39,06	553,91±38,77	564,34±39,50
133	578,30±40,48	684,71±47,93	572,30±40,06	597,30±41,81	537,63±37,63	592,82±41,50	582,15±40,75	601,23±42,09
140	622,49±43,57	728,35±50,98	603,02±42,21	644,13±45,09	585,32±40,97	635,53±44,49	628,79±44,02	638,62±44,70
147	667,83±46,75	774,50±54,22	641,99±44,94	675,25±47,27	615,86±43,11	674,29±47,20	669,43±46,86	682,45±47,77
154	702,54±49,18	814,69±57,03	672,40±47,07	698,44±48,89	641,71±44,92	703,88±49,27	693,54±48,55	733,39±51,34

Источник: составлено автором

Таблица А.7 – Корреляционная матрица зависимости органолептических и физико-химических показателей качества ядер грецких орехов при различных температурах хранения

Перемен-ные	Органолептические показатели (хранение при 20 °С)	Перекисное число (хранение при 20 °С)	Тиобарбитуровое число (хранение при 20 °С)	Содержание конъюгированных диенов (хранение при 20 °С)	Содержание пропаналя (хранение при 20 °С)	Содержание гексаналя (хранение при 20 °С)	Органолептические показатели (хранение при 35 °С)	Перекисное число (хранение при 35 °С)	Тиобарбитуровое число (хранение при 35 °С)	Содержание конъюгированных диенов (хранение при 35 °С)	Содержание пропаналя (хранение при 35 °С)	Содержание гексаналя (хранение при 35 °С)	Перекисное число (хранение при 45 °С)	Тиобарбитуровое число (хранение при 45 °С)	Содержание конъюгированных диенов (хранение при 45 °С)	Содержание пропаналя (хранение при 45 °С)	Содержание гексаналя (хранение при 45 °С)	Перекисное число (хранение при 55 °С)	Тиобарбитуровое число (хранение при 55 °С)	Содержание конъюгированных диенов (хранение при 55 °С)	Содержание пропаналя (хранение при 55 °С)	Содержание гексаналя (хранение при 55 °С)
Органолептические показатели (хранение при 20 °С)	**1,00**	-0,83	-0,74	-0,91	-0,72	-0,81	0,75	-0,63	-0,66	-0,82	-0,74	-0,80	0,17	-0,10	-0,35	-0,81	-0,80	0,23	-0,02	0,07	-0,79	-0,77
Перекисное число (хранение при 20 °С)	-0,83	**1,00**	0,90	0,90	0,95	0,93	-0,81	0,76	0,85	0,87	0,93	0,96	-0,20	0,21	0,53	0,93	0,94	-0,28	0,05	-0,08	0,94	0,94
Тиобарбитуровое число (хранение при 20 °С)	-0,74	0,90	**1,00**	0,82	0,98	0,96	-0,91	0,92	0,98	0,86	0,99	0,97	-0,08	0,31	0,72	0,98	0,98	-0,28	0,08	0,01	0,99	0,99
Содержание конъюгированных диенов (хранение при 20 °С)	-0,91	0,90	0,82	**1,00**	0,96	0,93	-0,80	0,68	0,75	0,86	0,93	0,94	-0,09	0,21	0,48	0,95	0,95	-0,19	0,09	0,03	0,94	0,94

Продолжение таблицы А.7

Содержание пропаналя (хранение при 20 °С)	-0,72	0,95	0,98	0,96	**1,00**	0,94	-0,97	0,93	0,96	0,91	0,97	0,96	0,20	0,44	0,78	0,97	0,98	-0,17	0,18	0,10	0,97	0,99
Содержание гексаналя (хранение при 20 °С)	-0,81	0,93	0,96	0,93	0,94	**1,00**	-0,92	0,96	0,97	0,93	0,95	0,97	0,04	0,27	0,68	0,98	0,96	-0,30	0,10	-0,04	0,96	0,95
Органолептические показатели (хранение при 35 °С)	0,75	-0,81	-0,91	-0,80	-0,97	-0,92	**1,00**	-0,88	-0,87	-0,76	-0,96	-0,94	-0,06	-0,43	-0,74	-0,95	-0,95	0,21	-0,14	-0,12	-0,96	-0,97
Перекисное число (хранение при 35 °С)	-0,63	0,76	0,92	0,68	0,93	0,96	-0,88	**1,00**	0,95	0,75	0,94	0,96	-0,08	0,31	0,74	0,97	0,96	0,34	0,05	-0,07	0,96	0,94
Тиобарбитуровое число (хранение при 35 °С)	-0,66	0,85	0,98	0,75	0,96	0,97	-0,87	0,95	**1,00**	0,82	0,95	0,96	-0,07	0,30	0,73	0,97	0,96	-0,29	0,09	-0,03	0,96	0,95
Содержание конъюгированных диенов (хранение при 35 °С)	-0,82	0,87	0,86	0,86	0,91	0,93	-0,76	0,75	0,82	**1,00**	0,90	0,96	-0,24	0,06	0,45	0,95	0,95	-0,33	-0,01	-0,15	0,95	0,94
Содержание пропаналя (хранение при 35 °С)	-0,74	0,93	0,99	0,93	0,97	0,95	-0,96	0,94	0,95	0,90	**1,00**	0,96	0,17	0,40	0,80	0,98	0,98	-0,22	0,17	0,08	0,98	0,98
Содержание гексаналя (хранение при 35 °С)	-0,80	0,96	0,97	0,94	0,96	0,97	-0,94	0,96	0,96	0,96	0,96	**1,00**	0,05	0,30	0,69	0,97	0,97	-0,29	0,11	-0,02	0,97	0,97
Перекисное число (хранение при 45 °С)	0,17	-0,20	-0,08	-0,09	0,20	0,04	-0,06	-0,08	-0,08	-0,24	0,17	0,05	**1,00**	0,74	0,41	0,11	0,11	0,73	0,43	0,84	0,17	0,18

Продолжение таблицы А.7

Тиобарбитуровое число (хранение при 45 °С)	-0,10	0,21	0,31	0,21	0,44	0,27	-0,43	0,31	0,30	0,06	0,40	0,30	0,74	**1,00**	0,69	0,33	0,34	0,44	0,31	0,71	0,40	0,42
Содержание конъюгированных диенов (хранение при 45 °С)	-0,35	0,53	0,72	0,48	0,78	0,68	-0,74	0,74	0,73	0,45	0,80	0,69	0,41	0,69	**1,00**	0,73	0,73	-0,05	0,15	0,39	0,78	0,77
Содержание пропаналя (хранение при 45 °С)	-0,81	0,93	0,98	0,95	0,97	0,98	-0,95	0,97	0,97	0,95	0,98	0,97	0,11	0,33	0,73	**1,00**	0,99	-0,26	0,12	0,01	0,99	0,99
Содержание гексаналя (хранение при 45 °С)	-0,80	0,94	0,98	0,95	0,98	0,96	-0,95	0,96	0,96	0,95	0,98	0,97	0,11	0,34	0,73	0,99	**1,00**	0,26	0,12	0,01	0,99	0,99
Перекисное число (хранение при 55 °С)	0,23	-0,28	-0,28	0,19	-0,17	-0,30	0,21	-0,34	-0,29	-0,33	-0,22	-0,29	0,73	0,44	-0,05	-0,26	-0,26	**1,00**	0,57	0,66	-0,22	-0,19
Тиобарбитуровое число (хранение при 55 °С)	-0,02	0,05	0,08	0,09	0,18	0,10	-0,14	0,05	0,09	-0,01	0,17	0,11	0,43	0,31	0,15	0,12	0,12	0,57	**1,00**	0,41	0,12	0,16
Содержание конъюгированных диенов (хранение при 55 °С)	0,07	-0,08	0,01	0,03	0,10	-0,04	-0,12	-0,07	-0,03	-0,15	0,08	-0,02	0,84	0,71	0,39	0,01	0,01	0,66	0,41	**1,00**	0,07	0,10
Содержание пропаналя (хранение при 55 °С)	-0,79	0,94	0,99	0,94	0,97	0,96	-0,96	0,96	0,96	0,95	0,98	0,97	0,17	0,40	0,78	0,99	0,99	-0,22	0,12	0,07	**1,00**	0,99
Содержание гексаналя (хранение при 55 °С)	-0,77	0,94	0,99	0,94	0,99	0,95	-0,97	0,94	0,95	0,94	0,98	0,97	0,18	0,42	0,77	0,98	0,99	-0,19	0,16	0,10	0,99	**1,00**

Источник: составлено автором

Таблица А.8 – Значения коэффициентов парной корреляции между органолептическими показателями и физико-химическими показателями окислительной порчи образцов ядер грецких орехов

	Коэффициент парной корреляции между органолептическими показателями и содержанием пропаналя	**Коэффициент парной корреляции между органолептическими показателями и содержанием гексаналя**	**Коэффициент парной корреляции между органолептическими показателями и перекисным числом**	**Коэффициент парной корреляции между органолептическими показателями и тиобарбитуровым числом**	**Коэффициент парной корреляции между органолептическими показателями и содержанием конъюгированных диенов**
	Хранение при 20 °С				
Усредненное значение исследуемых образцов	**-0,72**	**-0,81**	**-0,83**	**-0,74**	**-0,91**
Образец 1	-	-	-0,95	-0,91	-0,93
Образец 2	-	-	-0,91	-0,87	-0,87
Образец 3	-	-	-0,91	-0,92	-0,92
Образец 4	-0,76	-0,80	-0,85	-0,78	-0,80
Образец 5	-	-	-0,86	-0,90	-0,91
Образец 6	-0,85	-0,91	-0,85	-0,87	-0,85
Образец 7	-	-	-0,89	-0,83	-0,87
Образец 8	-0,68	-0,72	-0,75	-0,66	-0,76
Образец 9	-	-	-0,85	-0,87	-0,87
Образец 10	-0,78	-0,86	-0,86	-0,83	-0,85
	Ускоренное хранение при 35 °С				
Усредненное значение исследуемых образцов	**-0,96**	**-0,94**	**-0,88**	**-0,87**	**-0,76**
Образец 1	-	-	-0,91	-0,87	-0,65
Образец 2	-	-	-0,94	-0,98	-0,85
Образец 3	-	-	-0,98	-0,97	-0,82
Образец 4	-0,96	-0,92	-0,94	-0,97	-0,90
Образец 5	-	-	-0,87	-0,74	-0,73
Образец 6	-0,96	-0,95	-0,93	-0,96	-0,95
Образец 7	-	-	-0,91	-0,91	-0,83
Образец 8	-0,96	-0,97	-0,96	-0,98	-0,91
Образец 9	-	-	-0,95	-0,96	-0,86
Образец 10	-0,97	-0,94	-0,93	-0,95	-0,91

Источник: составлено автором

Приложение Б

(обязательное)

Таблица Б.1 – Результаты определения органолептических показателей качества образцов ядер грецких орехов, обработанных раствором дигидрокверцетина в различных концентрациях в процессе ускоренного хранения (гедоническая шкала) *

Продолжительность хранения, сутки	**Ускоренное хранение при 35 °С**				
	Контроль	**Обработка 0,001 % раствором**	**Обработка 0,005 % раствором**	**Обработка 0,01 % раствором**	**Обработка 0,02 % раствором**
0	5	5	5	5	5
7	5	5	5	5	5
14	5	5	5	5	5
21	5	5	5	5	5
28	5	5	5	5	5
35	5	5	5	5	5
42	4	4	5	5	5
49	4	4	4	5	5
56	4	4	4	4	5
63	4	4	4	4	5
70	3	3	4	4	5
77	3	3	3	4	4
84	3	3	3	4	4
91	3	3	3	3	4
98	3	3	3	3	4
105	3	3	3	3	3
112	2	2	3	3	3
119	2	2	2	3	3
126	2	2	2	2	3
133	2	2	2	2	3
140	2	2	2	2	3
147	1	1	1	2	3
154	1	1	1	2	2
Продолжительность хранения, сутки	**Ускоренное хранение при 45 °С**				
	Контроль	**Обработка 0,001 % раствором**	**Обработка 0,005 % раствором**	**Обработка 0,01 % раствором**	**Обработка 0,02 % раствором**
0	5	5	5	5	5
7	5	5	5	5	5
14	5	5	5	5	5
21	4	4	4	5	5
28	4	4	4	4	5
35	4	4	4	4	5
42	4	4	4	4	4
49	3	3	4	4	4
56	3	3	3	4	4

Продолжение таблицы Б.1

63	3	3	3	4	4
70	3	3	3	3	4
77	2	2	3	3	4
84	2	2	2	3	3
91	2	2	2	3	3
98	2	2	2	2	3
105	2	2	2	2	3
112	1	1	1	2	3
119	1	1	1	2	2
126	1	1	1	1	2
133	1	1	1	1	2
140	1	1	1	1	2
147	1	1	1	1	2
154	1	1	1	1	1
Продолжительность хранения, сутки	**Ускоренное хранение при 55 °С**				
	Контроль	**Обработка 0,001 % раствором**	**Обработка 0,005 % раствором**	**Обработка 0,01 % раствором**	**Обработка 0,02 % раствором**
0	5	5	5	5	5
7	4	4	4	4	5
14	4	4	4	4	4
21	3	3	4	4	4
28	3	3	3	4	4
35	3	3	3	3	4
42	3	3	3	3	4
49	2	2	3	3	3
56	2	2	2	3	3
63	1	1	2	3	3
70	1	1	1	2	3
77	1	1	1	2	3
84	1	1	1	2	3
91	1	1	1	1	2
98	1	1	1	1	2
105	1	1	1	1	2
112	1	1	1	1	2
119	1	1	1	1	1
126	1	1	1	1	1
133	1	1	1	1	1
140	1	1	1	1	1
147	1	1	1	1	1
154	1	1	1	1	1

* (условные обозначения: 5 – продукт не обладает признаками прогорклости и производит впечатление свежего, 4 – продукт не обладает признаками прогорклости, но не производит впечатление свежего (приемлемое качество), 3 – продукт обладает незначительными признаками прогорклости, 2 – продукт обладает значительными признаками прогорклости, 1 – продукт непригоден для употребления)

Источник: составлено автором

Таблица Б.2 – Результаты определения перекисного числа масла образцов ядер грецких орехов, обработанных раствором дигидрокверцетина в различных концентрациях в процессе ускоренного хранения, ммоль½О/кг масла

Продолжительность хранения, сутки	**Ускоренное хранение при 35 °С**					
	Контроль	**Обработка 0,001 % раствором**	**Обработка 0,005 % раствором**	**Обработка 0,01 % раствором**	**Обработка 0,02 % раствором**	**Обработка 0,05 % раствором**
0	0,49±0,04	0,49±0,04	0,49±0,04	0,49±0,04	0,49±0,04	0,49±0,04
7	0,57±0,05	0,56±0,04	0,55±0,04	0,51±0,04	0,49±0,04	0,49±0,04
14	0,7±0,06	0,68±0,05	0,66±0,05	0,57±0,05	0,51±0,04	0,50±0,04
21	0,83±0,07	0,81±0,06	0,78±0,06	0,64±0,05	0,53±0,04	0,50±0,04
28	0,97±0,08	0,95±0,08	0,93±0,07	0,69±0,06	0,57±0,05	0,51±0,04
35	1,14±0,09	1,12±0,09	1,09±0,09	0,75±0,06	0,60±0,05	0,53±0,04
42	1,36±0,11	1,35±0,11	1,32±0,11	0,83±0,07	0,64±0,05	0,54±0,04
49	1,74±0,14	1,73±0,14	1,70±0,14	0,89±0,07	0,68±0,05	0,57±0,05
56	2,12±0,17	2,10±0,17	2,08±0,17	0,97±0,08	0,73±0,06	0,60±0,05
63	2,47±0,20	2,45±0,20	2,43±0,19	1,07±0,09	0,78±0,06	0,64±0,05
70	2,84±0,23	2,83±0,23	2,80±0,22	1,33±0,11	0,83±0,07	0,68±0,05
77	3,60±0,14	3,58±0,14	3,56±0,14	1,79±0,14	0,90±0,07	0,73±0,06
84	4,33±0,17	4,31±0,17	4,28±0,17	2,44±0,20	1,14±0,09	0,79±0,06
91	5,20±0,21	5,18±0,21	5,15±0,21	2,91±0,23	1,36±0,11	0,84±0,07
98	6,01±0,24	6,00±0,24	5,96±0,24	3,61±0,14	1,75±0,14	0,90±0,07
105	7,30±0,29	7,28±0,29	7,25±0,29	4,54±0,18	2,13±0,17	0,97±0,08
112	8,52±0,34	8,50±0,34	8,48±0,34	5,73±0,23	2,57±0,21	1,06±0,08
119	9,73±0,39	9,72±0,39	9,68±0,39	7,13±0,29	2,91±0,23	1,13±0,09
126	10,94±0,44	10,93±0,44	10,89±0,44	8,57±0,34	3,67±0,15	1,23±0,10
133	12,19±0,49	12,18±0,49	12,15±0,49	9,80±0,39	4,44±0,18	1,33±0,11
140	13,64±0,55	13,62±0,54	13,58±0,54	11,36±0,45	5,71±0,23	1,52±0,12
147	14,94±0,60	14,93±0,60	14,88±0,60	12,55±0,50	6,95±0,28	1,71±0,14
154	14,82±0,59	14,8±0,59	14,78±0,59	13,82±0,55	8,53±0,34	1,99±0,16

Продолжительность хранения, сутки	**Ускоренное хранение при 45 °С**				
	Контроль	**Обработка 0,001 % раствором**	**Обработка 0,005 % раствором**	**Обработка 0,01 % раствором**	**Обработка 0,02 % раствором**
0	0,49±0,04	0,49±0,04	0,49±0,04	0,49±0,04	0,49±0,04
7	0,73±0,06	0,72±0,06	0,70±0,06	0,63±0,05	0,54±0,04
14	1,01±0,08	0,99±0,08	0,95±0,08	0,79±0,06	0,60±0,05
21	1,54±0,12	1,52±0,12	1,49±0,12	0,91±0,07	0,66±0,05
28	2,17±0,17	2,15±0,17	2,13±0,17	1,13±0,09	0,72±0,06
35	3,25±0,13	3,24±0,13	3,22±0,13	1,30±0,10	0,78±0,06
42	4,59±0,18	4,58±0,18	4,56±0,18	1,93±0,15	0,87±0,07
49	7,27±0,29	7,25±0,29	7,23±0,29	2,75±0,22	1,00±0,08
56	10,14±0,41	10,12±0,40	10,09±0,40	4,15±0,17	1,76±0,14
63	13,65±0,55	13,64±0,55	13,61±0,54	5,76±0,23	3,19±0,13
70	13,35±0,53	13,34±0,53	13,31±0,53	6,81±0,27	3,80±0,15

Продолжение таблицы Б.2

77	12,14±0,49	12,12±0,48	12,09±0,48	8,32±0,33	4,64±0,19
84	11,47±0,46	11,46±0,46	11,43±0,46	9,85±0,39	6,21±0,25
91	10,76±0,43	10,75±0,43	10,73±0,43	13,25±0,53	7,85±0,31
98	9,54±0,38	9,53±0,38	9,50±0,38	12,63±0,51	9,73±0,39
105	8,25±0,33	8,24±0,33	8,23±0,33	10,35±0,41	12,65±0,51
112	7,36±0,29	7,35±0,29	7,34±0,29	9,68±0,39	14,30±0,57
119	6,54±0,26	6,52±0,26	6,51±0,26	8,63±0,35	13,48±0,54
126	5,68±0,23	5,66±0,23	5,65±0,23	7,91±0,32	12,07±0,48
133	4,37±0,17	4,36±0,17	4,34±0,17	5,96±0,24	11,33±0,45
140	5,53±0,22	5,52±0,22	5,50±0,22	5,24±0,21	10,54±0,42
147	4,39±0,18	4,37±0,17	4,36±0,17	4,07±0,16	8,23±0,33
154	3,85±0,15	3,83±0,15	3,83±0,15	3,91±0,16	7,73±0,31
Продолжительность хранения, сутки	**Ускоренное хранение при 55 °С**				
	Контроль	**Обработка 0,001 % раствором**	**Обработка 0,005 % раствором**	**Обработка 0,01 % раствором**	**Обработка 0,02 % раствором**
0	0,49±0,04	0,49±0,04	0,49±0,04	0,49±0,04	0,49±0,04
7	0,94±0,08	0,94±0,07	0,92±0,07	0,73±0,06	0,65±0,05
14	1,50±0,12	1,50±0,12	1,47±0,12	1,09±0,09	0,83±0,07
21	2,37±0,19	2,36±0,19	2,34±0,19	1,55±0,12	1,07±0,09
28	3,83±0,15	3,83±0,15	3,81±0,15	1,93±0,15	1,36±0,11
35	5,63±0,23	5,62±0,22	5,60±0,22	2,87±0,23	1,84±0,15
42	9,06±0,36	9,05±0,36	9,03±0,36	3,93±0,16	2,40±0,19
49	13,31±0,53	13,29±0,53	13,26±0,53	5,53±0,22	3,84±0,15
56	12,49±0,50	12,47±0,50	12,45±0,50	6,94±0,28	4,52±0,18
63	10,37±0,41	10,36±0,41	10,34±0,41	8,51±0,34	6,99±0,28
70	7,64±0,31	7,63±0,31	7,61±0,30	10,49±0,42	9,15±0,37
77	5,82±0,23	5,82±0,23	5,79±0,23	13,77±0,55	12,06±0,48
84	6,40±0,26	6,39±0,26	6,38±0,26	12,48±0,50	14,40±0,58
91	4,07±0,16	4,06±0,16	4,03±0,16	11,35±0,45	13,52±0,54
98	3,36±0,13	3,35±0,13	3,32±0,13	10,07±0,40	12,47±0,50
105	2,54±0,20	2,53±0,20	2,50±0,20	8,65±0,35	10,93±0,44
112	4,72±0,19	4,72±0,19	4,69±0,19	7,31±0,29	9,23±0,37
119	3,43±0,14	3,42±0,14	3,40±0,14	6,25±0,25	8,51±0,34
126	2,63±0,21	2,62±0,21	2,60±0,21	4,31±0,17	7,95±0,32
133	4,61±0,18	4,60±0,18	4,57±0,18	5,35±0,21	6,39±0,26
140	3,59±0,14	3,57±0,14	3,55±0,14	4,07±0,16	5,29±0,21
147	1,54±0,12	1,52±0,12	1,51±0,12	3,73±0,15	4,32±0,17
154	2,37±0,19	2,35±0,19	2,34±0,19	3,30±0,13	4,54±0,18

Источник: составлено автором

Таблица Б.3 – Результаты определения тиобарбитурового числа масла образцов ядер грецких орехов, обработанных раствором дигидрокверцетина в различных концентрациях в процессе ускоренного хранения, мг малонового диальдегида/кг масла

Продолжительность хранения, сутки	**Ускоренное хранение при 35 °С**				
	Контроль	**Обработка 0,001 % раствором**	**Обработка 0,005 % раствором**	**Обработка 0,01 % раствором**	**Обработка 0,02 % раствором**
0	0,034±0,003	0,034±0,003	0,034±0,003	0,034±0,003	0,034±0,003
7	0,049±0,005	0,045±0,005	0,043±0,004	0,040±0,004	0,037±0,004
14	0,078±0,008	0,070±0,007	0,064±0,006	0,057±0,006	0,043±0,004
21	0,095±0,010	0,086±0,009	0,081±0,008	0,074±0,007	0,051±0,005
28	0,137±0,014	0,131±0,013	0,128±0,013	0,092±0,009	0,060±0,006
35	0,180±0,018	0,175±0,018	0,171±0,017	0,110±0,011	0,073±0,007
42	0,225±0,023	0,220±0,022	0,216±0,022	0,133±0,013	0,089±0,009
49	0,260±0,026	0,257±0,026	0,253±0,025	0,185±0,019	0,105±0,011
56	0,318±0,032	0,314±0,031	0,310±0,031	0,237±0,024	0,122±0,012
63	0,363±0,036	0,358±0,036	0,355±0,036	0,291±0,029	0,138±0,014
70	0,412±0,041	0,410±0,041	0,408±0,041	0,352±0,035	0,164±0,016
77	0,494±0,049	0,491±0,049	0,488±0,049	0,406±0,041	0,179±0,018
84	0,553±0,039	0,553±0,039	0,551±0,039	0,473±0,047	0,197±0,020
91	0,672±0,047	0,671±0,047	0,670±0,047	0,551±0,039	0,223±0,022
98	0,754±0,053	0,753±0,053	0,752±0,053	0,645±0,045	0,286±0,029
105	0,895±0,063	0,893±0,063	0,892±0,062	0,762±0,053	0,349±0,035
112	0,975±0,068	0,974±0,068	0,973±0,068	0,894±0,063	0,421±0,042
119	1,093±0,077	1,092±0,076	1,091±0,076	1,037±0,073	0,503±0,035
126	1,209±0,085	1,208±0,085	1,207±0,084	1,195±0,084	0,617±0,043
133	1,342±0,094	1,342±0,094	1,342±0,094	1,316±0,092	0,735±0,051
140	1,469±0,103	1,468±0,103	1,468±0,103	1,458±0,102	0,848±0,059
147	1,572±0,110	1,570±0,110	1,570±0,110	1,562±0,109	0,964±0,067
154	1,697±0,119	1,695±0,119	1,695±0,119	1,683±0,118	1,102±0,077
Продолжительность хранения, сутки	**Ускоренное хранение при 45 °С**				
	Контроль	**Обработка 0,001 % раствором**	**Обработка 0,005 % раствором**	**Обработка 0,01 % раствором**	**Обработка 0,02 % раствором**
0	0,034±0,003	0,034±0,003	0,034±0,003	0,034±0,003	0,034±0,003
7	0,100±0,010	0,097±0,010	0,090±0,009	0,073±0,007	0,052±0,005
14	0,251±0,025	0,246±0,025	0,237±0,024	0,122±0,012	0,064±0,006
21	0,695±0,049	0,689±0,048	0,671±0,047	0,186±0,019	0,089±0,009
28	1,034±0,072	1,027±0,072	1,018±0,071	0,249±0,025	0,120±0,012
35	1,630±0,114	1,625±0,114	1,615±0,113	0,371±0,037	0,153±0,015
42	2,248±0,157	2,246±0,157	2,239±0,157	0,516±0,036	0,194±0,019
49	2,851±0,200	2,847±0,199	2,841±0,199	0,720±0,050	0,257±0,026
56	4,763±0,333	4,760±0,333	4,755±0,333	0,983±0,069	0,318±0,032
63	5,318±0,372	5,315±0,372	5,312±0,372	1,461±0,102	0,506±0,035
70	4,983±0,349	4,982±0,349	4,979±0,349	2,109±0,148	0,724±0,051
77	4,511±0,316	4,509±0,316	4,506±0,315	2,834±0,198	0,938±0,066
84	4,639±0,325	4,637±0,325	4,635±0,324	3,613±0,253	1,315±0,092
91	4,205±0,294	4,205±0,294	4,203±0,294	4,912±0,344	1,822±0,128

Продолжение таблицы Б.3

98	3,992±0,279	3,991±0,279	3,990±0,279	4,738±0,332	2,467±0,173
105	3,750±0,263	3,749±0,262	3,748±0,262	4,329±0,303	3,129±0,219
112	3,537±0,248	3,536±0,248	3,535±0,247	4,075±0,285	3,905±0,273
119	3,348±0,234	3,348±0,234	3,348±0,234	3,731±0,261	4,832±0,338
126	3,168±0,222	3,167±0,222	3,167±0,222	3,562±0,249	4,658±0,326
133	2,851±0,200	2,850±0,200	2,850±0,200	3,418±0,239	4,512±0,316
140	3,252±0,228	3,251±0,228	3,251±0,228	3,265±0,229	4,369±0,306
147	2,965±0,208	2,964±0,207	2,964±0,207	2,983±0,209	4,118±0,288
154	2,539±0,178	2,538±0,178	2,538±0,178	2,804±0,196	3,937±0,276
Продолжи-тельность хранения, сутки	**Ускоренное хранение при 55 °С**				
	Контроль	**Обработка 0,001 % раствором**	**Обработка 0,005 % раствором**	**Обработка 0,01 % раствором**	**Обработка 0,02 % раствором**
0	0,034±0,003	0,034±0,003	0,034±0,003	0,034±0,003	0,034±0,003
7	0,137±0,014	0,133±0,013	0,130±0,013	0,098±0,010	0,077±0,008
14	0,529±0,037	0,525±0,037	0,521±0,036	0,407±0,041	0,136±0,014
21	1,231±0,086	1,227±0,086	1,224±0,086	0,812±0,057	0,318±0,032
28	2,035±0,142	2,032±0,142	2,027±0,142	1,349±0,094	0,524±0,037
35	3,427±0,240	3,425±0,240	3,422±0,240	1,932±0,135	0,892±0,062
42	2,765±0,194	2,762±0,193	2,759±0,193	2,761±0,193	1,763±0,123
49	2,190±0,153	2,189±0,153	2,187±0,153	4,325±0,303	2,944±0,206
56	1,835±0,128	1,834±0,128	1,833±0,128	2,634±0,184	4,522±0,317
63	2,966±0,208	2,964±0,207	2,963±0,207	2,420±0,169	3,967±0,278
70	2,248±0,157	2,248±0,157	2,247±0,157	2,165±0,152	3,285±0,230
77	1,674±0,117	1,672±0,117	1,672±0,117	1,834±0,128	2,843±0,199
84	1,905±0,133	1,904±0,133	1,904±0,133	1,613±0,113	2,530±0,177
91	2,433±0,170	2,431±0,170	2,431±0,170	1,459±0,102	2,196±0,154
98	1,828±0,128	1,827±0,128	1,827±0,128	1,723±0,121	1,818±0,127
105	1,294±0,091	1,294±0,091	1,294±0,091	2,088±0,146	1,793±0,126
112	0,835±0,058	0,834±0,058	0,834±0,058	1,937±0,136	1,527±0,107
119	1,354±0,095	1,353±0,095	1,353±0,095	1,514±0,106	1,362±0,095
126	1,744±0,122	1,744±0,122	1,744±0,122	1,268±0,089	1,095±0,077
133	2,463±0,172	2,462±0,172	2,462±0,172	1,045±0,073	1,257±0,088
140	1,825±0,128	1,825±0,128	1,825±0,128	1,167±0,082	1,460±0,102
147	0,935±0,065	0,934±0,065	0,934±0,065	1,294±0,091	1,512±0,106
154	1,249±0,087	1,248±0,087	1,248±0,087	1,525±0,107	1,329±0,093

Источник: составлено автором

Таблица Б.4 – Результаты определения содержания конъюгированных диенов в масле образцов ядер грецких орехов, обработанных раствором дигидрокверцетина в различных концентрациях в процессе ускоренного хранения, ммоль/л

Продолжительность хранения, сутки	**Ускоренное хранение при 35 °С**				
	Контроль	**Обработка 0,001 % раствором**	**Обработка 0,005 % раствором**	**Обработка 0,01 % раствором**	**Обработка 0,02 % раствором**
0	0,821±0,041	0,821±0,041	0,821±0,041	0,821±0,041	0,821±0,041
7	0,874±0,044	0,865±0,043	0,859±0,043	0,842±0,042	0,828±0,041
14	0,922±0,046	0,918±0,046	0,911±0,046	0,873±0,044	0,837±0,042
21	0,970±0,049	0,967±0,048	0,960±0,048	0,901±0,045	0,845±0,042
28	1,021±0,051	1,017±0,051	1,012±0,051	0,935±0,047	0,861±0,043
35	1,078±0,054	1,076±0,054	1,071±0,054	0,978±0,049	0,879±0,044
42	1,237±0,062	1,236±0,062	1,232±0,062	1,055±0,053	0,903±0,045
49	1,299±0,065	1,297±0,065	1,294±0,065	1,249±0,062	0,934±0,047
56	1,387±0,069	1,385±0,069	1,381±0,069	1,368±0,068	0,975±0,049
63	1,453±0,073	1,449±0,072	1,445±0,072	1,432±0,072	1,012±0,051
70	1,631±0,082	1,630±0,082	1,627±0,081	1,579±0,079	1,053±0,053
77	1,832±0,092	1,829±0,091	1,827±0,091	1,695±0,085	1,094±0,055
84	2,065±0,103	2,063±0,103	2,062±0,103	1,834±0,092	1,318±0,066
91	2,263±0,113	2,261±0,113	2,260±0,113	2,033±0,102	1,527±0,076
98	2,504±0,125	2,503±0,125	2,503±0,125	2,267±0,113	1,780±0,089
105	2,947±0,147	2,946±0,147	2,946±0,147	2,529±0,126	2,064±0,103
112	3,582±0,179	3,582±0,179	3,582±0,179	2,894±0,145	2,385±0,119
119	3,847±0,192	3,846±0,192	3,846±0,192	3,346±0,167	2,915±0,146
126	4,252±0,213	4,251±0,213	4,251±0,213	3,908±0,195	3,667±0,183
133	4,983±0,249	4,983±0,249	4,983±0,249	4,628±0,231	4,239±0,212
140	5,531±0,277	5,530±0,277	5,530±0,277	5,219±0,261	4,981±0,249
147	6,315±0,316	6,314±0,316	6,314±0,316	6,157±0,308	5,743±0,287
154	7,265±0,363	7,264±0,363	7,264±0,363	7,055±0,353	6,814±0,341
Продолжительность хранения, сутки	**Ускоренное хранение при 45 °С**				
	Контроль	**Обработка 0,001 % раствором**	**Обработка 0,005 % раствором**	**Обработка 0,01 % раствором**	**Обработка 0,02 % раствором**
0	0,821±0,041	0,821±0,041	0,821±0,041	0,821±0,041	0,821±0,041
7	0,965±0,048	0,960±0,048	0,952±0,048	0,893±0,045	0,853±0,043
14	1,237±0,062	1,233±0,062	1,227±0,061	0,972±0,049	0,894±0,045
21	1,534±0,077	1,530±0,077	1,524±0,076	1,101±0,055	0,955±0,048
28	1,831±0,092	1,829±0,091	1,820±0,091	1,198±0,060	1,027±0,051
35	2,433±0,122	2,431±0,122	2,423±0,121	1,537±0,077	1,100±0,055
42	3,077±0,154	3,075±0,154	3,069±0,153	1,904±0,095	1,189±0,059
49	3,862±0,193	3,861±0,193	3,857±0,193	2,516±0,126	1,303±0,065
56	4,722±0,236	4,721±0,236	4,719±0,236	3,267±0,163	1,724±0,086
63	7,308±0,365	7,306±0,365	7,305±0,365	4,075±0,204	2,346±0,117
70	9,630±0,482	9,628±0,481	9,628±0,481	5,139±0,257	3,154±0,158
77	12,035±0,602	12,034±0,602	12,034±0,602	6,582±0,329	3,936±0,197
84	13,280±0,664	13,280±0,664	13,280±0,664	8,064±0,403	5,219±0,261
91	12,377±0,619	12,376±0,619	12,376±0,619	9,862±0,493	6,374±0,319

Продолжение таблицы Б.4

98	12,744±0,637	12,743±0,637	12,743±0,637	12,345±0,617	7,522±0,376
105	12,286±0,614	12,286±0,614	12,286±0,614	11,629±0,581	9,265±0,463
112	11,377±0,569	11,375±0,569	11,375±0,569	11,934±0,597	11,483±0,574
119	11,691±0,585	11,690±0,585	11,690±0,585	11,523±0,576	13,748±0,687
126	13,755±0,688	13,755±0,688	13,755±0,688	11,271±0,564	12,625±0,631
133	13,203±0,660	13,203±0,660	13,203±0,660	12,132±0,607	12,037±0,602
140	12,550±0,628	12,549±0,627	12,549±0,627	12,639±0,632	11,829±0,591
147	12,285±0,614	12,284±0,614	12,284±0,614	13,175±0,659	11,543±0,577
154	11,633±0,582	11,633±0,582	11,633±0,582	12,814±0,641	11,218±0,561
Продолжи-тельность хранения, сутки	**Ускоренное хранение при 55 °С**				
	Контроль	**Обработка 0,001 % раствором**	**Обработка 0,005 % раствором**	**Обработка 0,01 % раствором**	**Обработка 0,02 % раствором**
0	0,821±0,041	0,821±0,041	0,821±0,041	0,821±0,041	0,821±0,041
7	1,068±0,053	1,064±0,053	1,061±0,053	0,954±0,048	0,883±0,044
14	1,315±0,066	1,310±0,066	1,307±0,065	1,108±0,055	0,954±0,048
21	1,742±0,087	1,739±0,087	1,736±0,087	1,352±0,068	1,037±0,052
28	2,351±0,118	2,348±0,117	2,345±0,117	1,764±0,088	1,198±0,060
35	3,004±0,150	3,002±0,150	3,000±0,150	2,345±0,117	1,354±0,068
42	3,977±0,199	3,975±0,199	3,974±0,199	3,007±0,150	1,555±0,078
49	5,249±0,262	5,248±0,262	5,247±0,262	3,951±0,198	2,104±0,105
56	7,346±0,367	7,345±0,367	7,344±0,367	5,264±0,263	2,763±0,138
63	10,518±0,526	10,517±0,526	10,517±0,526	6,829±0,341	3,519±0,176
70	13,644±0,682	13,642±0,682	13,642±0,682	9,382±0,469	4,935±0,247
77	12,755±0,638	12,755±0,638	12,755±0,638	11,627±0,581	6,712±0,336
84	10,349±0,517	10,348±0,517	10,348±0,517	13,388±0,669	8,520±0,426
91	8,251±0,413	8,249±0,412	8,249±0,412	12,834±0,642	10,834±0,542
98	7,644±0,382	7,643±0,382	7,643±0,382	12,202±0,610	13,621±0,681
105	5,202±0,260	5,201±0,260	5,201±0,260	11,367±0,568	12,889±0,644
112	4,533±0,227	4,532±0,227	4,532±0,227	10,843±0,542	11,754±0,588
119	5,897±0,295	5,894±0,295	5,894±0,295	9,524±0,476	10,652±0,533
126	5,315±0,266	5,314±0,266	5,314±0,266	8,622±0,431	10,185±0,509
133	4,673±0,234	4,672±0,234	4,672±0,234	7,083±0,354	9,733±0,487
140	4,204±0,210	4,203±0,210	4,203±0,210	5,948±0,297	8,904±0,445
147	3,857±0,193	3,855±0,193	3,855±0,193	4,833±0,242	8,065±0,403
154	4,520±0,226	4,519±0,226	4,519±0,226	4,257±0,213	7,318±0,366

Источник: составлено автором

Таблица Б.5 – Результаты определения содержания пропаналя и гексаналя в образцах ядер грецких орехов, обработанных раствором дигидрокверцетина в различных концентрациях в процессе ускоренного хранения, мкг/кг орехов

Продолжительность хранения при 35 °С, сутки	Контроль		Обработка 0,001 % раствором		Обработка 0,005 % раствором		Обработка 0,01 % раствором		Обработка 0,02 % раствором	
	Пропаналь	Гексаналь	Пропаналь	Гексаналь	Пропаналь	Гексаналь	Пропаналь	Гексаналь	Пропаналь	Гексаналь
0	0,25±0,02	0,66±0,05	0,22±0,02	0,64±0,04	0,23±0,02	0,63±0,04	0,26±0,02	0,65±0,05	0,23±0,02	0,64±0,04
7	0,74±0,05	0,93±0,07	0,73±0,05	0,98±0,07	0,64±0,04	0,85±0,06	0,44±0,03	0,66±0,05	0,24±0,02	0,68±0,05
14	2,99±0,21	1,51±0,11	2,56±0,18	1,52±0,11	2,25±0,16	1,42±0,10	1,78±0,12	1,20±0,08	0,39±0,03	0,70±0,05
21	8,23±0,58	4,54±0,32	7,29±0,51	4,43±0,31	6,82±0,48	4,21±0,29	3,20±0,22	3,53±0,25	0,55±0,04	0,73±0,05
28	16,30±1,14	10,59±0,74	16,34±1,14	10,34±0,72	15,00±1,05	9,99±0,70	5,43±0,38	5,74±0,40	0,88±0,06	0,92±0,06
35	23,05±1,61	14,00±0,98	22,50±1,58	13,66±0,96	21,39±1,50	12,57±0,88	8,92±0,62	7,99±0,56	1,17±0,08	1,05±0,07
42	33,87±2,37	16,75±1,17	33,02±2,31	16,15±1,13	31,77±2,22	15,48±1,08	13,51±0,95	10,58±0,74	1,52±0,11	1,39±0,10
49	42,16±2,95	20,17±1,41	40,75±2,85	19,29±1,35	38,25±2,68	18,72±1,31	18,89±1,32	15,87±1,11	2,13±0,15	1,76±0,12
56	47,75±3,34	23,23±1,63	46,56±3,26	22,51±1,58	44,93±3,15	22,13±1,55	24,95±1,75	20,43±1,43	2,50±0,18	2,21±0,15
63	53,39±3,74	27,52±1,93	50,43±3,53	27,17±1,90	48,51±3,40	25,35±1,77	31,70±2,22	23,60±1,65	3,35±0,23	2,65±0,19
70	60,14±4,21	32,61±2,28	59,34±4,15	31,88±2,23	57,29±4,01	30,20±2,11	39,57±2,77	27,15±1,90	3,96±0,28	3,17±0,22
77	77,63±5,43	35,49±2,48	75,98±5,32	34,90±2,44	74,38±5,21	33,86±2,37	47,46±3,32	30,36±2,13	7,29±0,51	3,73±0,26
84	90,22±6,32	41,80±2,93	88,50±6,20	40,52±2,84	85,97±6,02	40,44±2,83	55,34±3,87	33,49±2,34	11,41±0,80	4,52±0,32
91	101,96±7,14	47,35±3,31	100,25±7,02	46,33±3,24	97,26±6,81	45,52±3,19	62,93±4,41	37,94±2,66	16,94±1,19	5,36±0,38
98	120,35±8,42	55,77±3,90	118,36±8,29	54,84±3,84	116,45±8,15	53,03±3,71	70,10±4,91	42,53±2,98	22,58±1,58	5,94±0,42
105	131,10±9,18	68,78±4,81	127,49±8,92	67,25±4,71	128,30±8,98	65,45±4,58	76,88±5,38	46,88±3,28	30,13±2,11	9,48±0,66
112	140,41±9,83	76,36±5,35	135,03±9,45	75,19±5,26	135,73±9,50	73,21±5,12	85,69±6,00	50,12±3,51	38,65±2,71	13,53±0,95
119	144,59±10,12	83,23±5,83	139,74±9,78	81,20±5,68	141,21±9,88	80,79±5,66	98,25±6,88	55,36±3,88	51,72±3,62	19,72±1,38
126	153,65±10,76	95,52±6,69	147,65±10,34	94,64±6,62	150,96±10,57	93,15±6,52	112,41±7,87	61,41±4,30	62,49±4,37	24,64±1,72
133	161,97±11,34	113,14±7,92	158,46±11,09	110,46±7,73	157,65±11,04	110,28±7,72	126,33±8,84	67,83±4,75	73,83±5,17	33,29±2,33
140	168,76±11,81	124,75±8,73	166,32±11,64	122,53±8,58	164,39±11,51	121,63±8,51	138,04±9,66	75,24±5,27	85,98±6,02	45,06±3,15
147	173,63±12,15	140,86±9,86	169,20±11,84	138,28±9,68	170,87±11,96	137,80±9,65	152,78±10,69	82,49±5,77	101,36±7,10	52,43±3,67

Продолжение таблицы Б.5

154	177,81±12,45	162,97±11,41	173,19±12,12	160,11±11,21	174,95±12,25	159,54±11,17	169,59±11,87	90,08±6,31	118,52±8,30	61,28±4,29
Продолжительность хранения при 45 °С, сутки	**Контроль**		**Обработка 0,001 % раствором**		**Обработка 0,005 % раствором**		**Обработка 0,01 % раствором**		**Обработка 0,02 % раствором**	
	Пропаналь	**Гексаналь**	**Пропаналь**	**Гексаналь**	**Пропаналь**	**Гексаналь**	**Пропаналь**	**Гексаналь**	**Пропаналь**	**Гексаналь**
0	0,26±0,02	0,66±0,05	0,23±0,02	0,66±0,05	0,25±0,02	0,64±0,04	0,25±0,02	0,66±0,05	0,26±0,02	0,66±0,05
7	1,04±0,07	1,54±0,11	1,04±0,07	1,54±0,11	1,00±0,07	1,57±0,11	0,53±0,04	0,94±0,07	0,44±0,03	0,74±0,05
14	3,39±0,24	3,92±0,27	3,15±0,22	3,82±0,27	3,03±0,21	3,78±0,26	0,91±0,06	1,37±0,10	0,78±0,05	0,90±0,06
21	8,48±0,59	10,53±0,74	8,20±0,57	10,28±0,72	8,01±0,56	10,03±0,70	1,79±0,13	2,18±0,15	1,20±0,08	1,35±0,09
28	15,90±1,11	19,59±1,37	15,56±1,09	19,00±1,33	15,44±1,08	18,95±1,33	3,26±0,23	3,50±0,25	1,92±0,13	1,98±0,14
35	28,73±2,01	35,10±2,46	28,38±1,99	34,35±2,40	28,17±1,97	34,19±2,39	5,93±0,42	4,93±0,35	2,59±0,18	2,57±0,18
42	36,14±2,53	49,55±3,47	35,42±2,48	48,76±3,41	35,26±2,47	48,50±3,40	9,42±0,66	11,72±0,82	3,31±0,23	3,43±0,24
49	50,05±3,50	71,47±5,00	49,79±3,49	70,39±4,93	49,53±3,47	70,02±4,90	12,74±0,89	23,44±1,64	4,05±0,28	4,62±0,32
56	83,52±5,85	102,63±7,18	82,81±5,80	101,21±7,08	82,55±5,78	100,84±7,06	18,98±1,33	35,99±2,52	5,27±0,37	5,95±0,42
63	118,73±8,31	136,72±9,57	117,57±8,23	135,33±9,47	117,39±8,22	134,76±9,43	27,50±1,93	48,65±3,41	6,53±0,46	7,29±0,51
70	144,84±10,14	180,35±12,62	143,65±10,06	178,84±12,52	143,2±10,02	178,11±12,47	39,45±2,76	62,11±4,35	7,92±0,55	8,77±0,61
77	182,35±12,76	220,59±15,44	181,23±12,69	218,47±15,29	180,87±12,66	217,99±15,26	51,92±3,63	78,48±5,49	9,69±0,68	12,68±0,89
84	212,70±14,89	253,81±17,77	210,44±14,73	251,22±17,59	209,98±14,70	250,48±17,53	67,39±4,72	103,53±7,25	15,84±1,11	21,40±1,50
91	235,81±16,51	279,38±19,56	233,76±16,36	276,53±19,36	233,03±16,31	275,63±19,29	88,57±6,20	120,40±8,43	27,55±1,93	39,51±2,77
98	254,56±17,82	302,55±21,18	251,99±17,64	299,44±20,96	251,14±17,58	298,34±20,88	110,43±7,73	138,25±9,68	41,60±2,91	48,16±3,37
105	271,39±19,00	336,73±23,57	268,52±18,80	333,96±23,38	267,86±18,75	332,88±23,30	128,34±8,98	159,69±11,18	59,76±4,18	63,74±4,46
112	298,78±20,91	378,44±26,49	295,41±20,68	374,85±26,24	294,61±20,62	373,52±26,15	145,96±10,22	184,23±12,90	80,21±5,61	83,53±5,85
119	330,37±23,13	408,99±28,63	327,60±22,93	404,50±28,32	326,59±22,86	403,20±28,22	168,05±11,76	209,44±14,66	111,48±7,80	106,45±7,45
126	357,43±25,02	433,16±30,32	353,15±24,72	428,09±29,97	352,38±24,67	427,14±29,90	188,21±13,17	234,57±16,42	132,67±9,29	127,38±8,92
133	384,52±26,92	458,53±32,10	380,23±26,62	453,94±31,78	379,17±26,54	453,06±31,71	214,69±15,03	268,38±18,79	150,73±10,55	142,92±10,00
140	413,65±28,96	491,61±34,41	408,64±28,60	485,26±33,97	407,36±28,52	484,29±33,90	235,90±16,51	312,70±21,89	182,02±12,74	160,53±11,24
147	441,59±30,91	520,44±36,43	437,16±30,60	513,83±35,97	436,53±30,56	512,65±35,89	258,75±18,11	345,86±24,21	203,55±14,25	182,46±12,77
154	475,95±33,32	548,98±38,43	470,58±32,94	543,75±38,06	468,95±32,83	542,47±37,97	296,38±20,75	384,23±26,90	224,89±15,74	201,24±14,09

Продолжение таблицы Б.5

Продолжительность хранения при 55 °С, сутки	Контроль		Обработка 0,001 % раствором		Обработка 0,005 % раствором		Обработка 0,01 % раствором		Обработка 0,02 % раствором	
	Пропаналь	Гексаналь	Пропаналь	Гексаналь	Пропаналь	Гексаналь	Пропаналь	Гексаналь	Пропаналь	Гексаналь
0	0,23±0,02	0,65±0,05	0,26±0,02	0,65±0,05	0,26±0,02	0,66±0,05	0,25±0,02	0,63±0,04	0,25±0,02	0,66±0,05
7	1,82±0,13	2,41±0,17	1,85±0,13	2,34±0,16	1,74±0,12	2,23±0,16	1,13±0,08	1,75±0,12	0,71±0,05	1,35±0,09
14	5,54±0,39	7,38±0,52	5,34±0,37	7,19±0,50	5,18±0,36	7,05±0,49	2,34±0,16	4,50±0,32	1,49±0,10	3,23±0,23
21	12,58±0,88	18,49±1,29	12,18±0,85	18,20±1,27	12,03±0,84	18,09±1,27	3,79±0,27	8,69±0,61	2,34±0,16	5,41±0,38
28	21,80±1,53	36,03±2,52	21,53±1,51	35,53±2,49	21,25±1,49	35,10±2,46	5,28±0,37	12,46±0,87	3,56±0,25	8,98±0,63
35	35,09±2,46	78,44±5,49	34,82±2,44	78,02±5,46	34,52±2,42	77,48±5,42	8,93±0,63	17,92±1,25	5,13±0,36	12,39±0,87
42	80,45±5,63	119,88±8,39	80,35±5,62	119,16±8,34	79,80±5,59	118,54±8,30	12,45±0,87	22,57±1,58	7,35±0,51	19,47±1,36
49	123,93±8,68	158,5±11,10	123,39±8,64	157,55±11,03	122,69±8,59	156,96±10,99	15,89±1,11	35,31±2,47	9,40±0,66	28,35±1,98
56	175,04±12,25	194,95±13,65	174,5±12,22	193,88±13,57	173,96±12,18	193,03±13,51	23,50±1,65	51,48±3,60	13,52±0,95	39,23±2,75
63	223,48±15,64	235,54±16,49	223,14±15,62	234,20±16,39	222,27±15,56	233,47±16,34	37,41±2,62	68,35±4,78	17,99±1,26	52,70±3,69
70	259,27±18,15	274,07±19,18	258,77±18,11	272,39±19,07	256,84±17,98	271,58±19,01	52,68±3,69	92,73±6,49	21,37±1,50	70,52±4,94
77	293,82±20,57	313,86±21,97	293,35±20,53	311,44±21,80	291,48±20,40	310,25±21,72	73,97±5,18	125,04±8,75	25,88±1,81	93,69±6,56
84	335,43±23,48	342,93±24,01	334,53±23,42	340,67±23,85	332,62±23,28	338,92±23,72	91,53±6,41	163,49±11,44	30,23±2,12	116,44±8,15
91	375,10±26,26	375,42±26,28	374,22±26,20	373,56±26,15	372,43±26,07	371,41±26,00	112,65±7,89	199,85±13,99	37,95±2,66	138,28±9,68
98	404,85±28,34	412,19±28,85	403,70±28,26	410,13±28,71	400,55±28,04	408,59±28,60	134,94±9,45	231,53±16,21	51,81±3,63	169,05±11,83
105	439,76±30,78	445,00±31,15	438,91±30,72	443,02±31,01	435,21±30,46	441,60±30,91	167,06±11,69	274,62±19,22	67,54±4,73	184,73±12,93
112	474,09±33,19	482,71±33,79	472,58±33,08	481,75±33,72	468,79±32,82	478,38±33,49	198,59±13,90	319,58±22,37	83,49±5,84	206,51±14,46
119	512,64±35,88	533,15±37,32	511,39±35,80	530,21±37,11	507,60±35,53	527,15±36,90	226,80±15,88	351,24±24,59	103,76±7,26	234,86±16,44
126	554,26±38,80	564,54±39,52	552,45±38,67	562,89±39,40	548,23±38,38	559,57±39,17	264,95±18,55	384,16±26,89	125,68±8,80	261,75±18,32
133	582,53±40,78	601,38±42,10	581,64±40,71	599,30±41,95	577,54±40,43	597,26±41,81	301,52±21,11	429,30±30,05	153,85±10,77	293,49±20,54
140	628,88±44,02	638,73±44,71	627,53±43,93	635,43±44,48	623,85±43,67	633,13±44,32	342,78±23,99	462,01±32,34	211,93±14,84	326,14±22,83
147	669,54±46,87	682,71±47,79	668,48±46,79	679,85±47,59	663,78±46,46	677,45±47,42	376,93±26,39	497,45±34,82	256,70±17,97	350,88±24,56
154	693,70±48,56	733,55±51,35	692,37±48,47	730,44±51,13	687,36±48,12	728,34±50,98	413,44±28,94	536,58±37,56	302,55±21,18	384,23±26,90

Источник: составлено автором

Таблица Б.6 – Средняя скорость роста значений физико-химических показателей окислительной порчи образов ядер грецких орехов, обработанных раствором дигидрокверцетина в различных концентрациях

Образец	**Средняя скорость роста перекисного числа, (ммоль ½ О/кг масла)/сутки**	**Средняя скорость роста тиобарбитурового числа, (мг малонового диальдегида/кг масла)/ сутки**	**Средняя скорость роста содержания конъюгированных диенов, (ммоль/л)/ сутки**	**Средняя скорость роста содержания пропаналя, (мкг/кг орехов)/ сутки**	**Средняя скорость роста содержания гексаналя, (мкг/кг орехов)/ сутки**
	Ускоренное хранение при 35 °С				
Контроль	0,10	0,011	0,042	1,15	1,05
Обработка 0,001 % раствором	0,10	0,011	0,042	1,12	1,04
Обработка 0,005 % раствором	0,10	0,011	0,042	1,13	1,03
Обработка 0,01 % раствором	0,09	0,011	0,040	1,10	0,58
Обработка 0,02 % раствором	0,05	0,007	0,039	0,77	0,39
Образец	**Ускоренное хранение при 45 °С**				
Контроль	0,21	0,084	0,148	3,09	3,56
Обработка 0,001 % раствором	0,21	0,084	0,148	3,05	3,53
Обработка 0,005 % раствором	0,21	0,084	0,148	3,04	3,52
Обработка 0,01 % раствором	0,14	0,054	0,118	1,92	2,49
Обработка 0,02 % раствором	0,12	0,040	0,109	1,46	1,30
Образец	**Ускоренное хранение при 55 °С**				
Контроль	0,26	0,097	0,183	4,50	4,76
Обработка 0,001 % раствором	0,26	0,097	0,183	4,49	4,74
Обработка 0,005 % раствором	0,26	0,097	0,183	4,46	4,73
Обработка 0,01 % раствором	0,17	0,088	0,150	2,68	3,48
Обработка 0,02 % раствором	0,17	0,080	0,131	1,96	2,49

Источник: составлено автором

Приложение В

(обязательное)

Таблица В.1 – Уравнения регрессии и значения коэффициента детерминации для периодов инициации и развития окислительных процессов в образцах ядер грецких орехов в процессе ускоренного хранения по физико-химическим показателям окислительной порчи

Образец	**Ускоренное хранение при 35 °С**			**Ускоренное хранение при 45 °С**			**Ускоренное хранение при 55 °С**		
	Уравнение регрессии и R^2 для периода инициации окислительных процессов	**Уравнение регрессии и R^2 для периода развития окислительных процессов**	**Рассчитанное окончание периода инициации и окислительных процессов (сутки)**	**Уравнение регрессии и R^2 для периода инициации окислительных процессов**	**Уравнение регрессии и R^2 для периода развития окислительных процессов**	**Рассчитанное окончание периода инициации окислительных процессов (сутки)**	**Уравнение регрессии и R^2 для периода инициации окислительных процессов**	**Уравнение регрессии и R^2 для периода развития окислительных процессов**	**Рассчитанное окончание периода инициации и окислительных процессов (сутки)**
	Корреляционная зависимость между периодом ускоренного хранения и содержанием пропаналя								
Образец 4	$y = 0,95x+11,75$ $R^2 = 0,95$	$y = 0,74x+7,22$ $R^2 = 0,87$	78	$y = 0,35x+16,40$ $R^2 = 0,90$	$y = 0,24x+32,77$ $R^2 = 0,99$	59	$y = 0,27x+15,50$ $R^2 = 0,91$	$y = 0,17x+35,73$ $R^2 = 0,99$	34
Образец 6	$y = 1,06x+10,70$ $R^2 = 0,96$	$y = 0,72x+16,50$ $R^2 = 0,96$	83	$y = 0,38x+15,15$ $R^2 = 0,91$	$y = 0,23x+28,77$ $R^2 = 0,99$	50	$y = 0,25x+14,48$ $R^2 = 0,93$	$y = 0,19x+22,62$ $R^2 = 0,99$	35
Образец 8	$y = 0,84x+8,74$ $R^2 = 0,97$	$y = 1,24x-69,01$ $R^2 = 0,80$	77	$y = 0,45x+14,00$ $R^2 = 0,90$	$y = 0,23x+40,19$ $R^2 = 0,99$	59	$y = 0,25x+12,65$ $R^2 = 0,94$	$y = 0,19x+27,87$ $R^2 = 0,99$	33
Образец 10	$y = 0,97x+9,45$ $R^2 = 0,97$	$y = 0,79x+7,40$ $R^2 = 0,96$	85	$y = 0,38x+17,32$ $R^2 = 0,87$	$y = 0,26x+30,86$ $R^2 = 0,99$	55	$y = 0,22x+15,95$ $R^2 = 0,90$	$y = 0,19x+20,15$ $R^2 = 0,99$	38
Образец	**Корреляционная зависимость между периодом ускоренного хранения и содержанием гексаналя**								
Образец 4	$y = 2,46x-0,74$ $R^2 = 0,99$	$y = 0,55x+65,90$ $R^2 = 0,96$	87	$y = 0,35x+12,41$ $R^2 = 0,93$	$y = 0,17x+37,82$ $R^2 = 0,97$	62	$y = 0,21x+9,15$ $R^2 = 0,98$	$y = 0,17x+22,32$ $R^2 = 0,99$	39

Продолжение таблицы В.1

Образец 6	y = 1,61x+10,37 R² = 0,94	y = 0,89x+31,51 R² = 0,94	85	y = 0,32x+13,77 R² = 0,93	y = 0,19x+32,67 R² = 0,99	62	y = 0,24x+13,16 R² = 0,93	y = 0,17x+32,04 R² = 0,99	35
Образец 8	y = 1,48x+10,24 R² = 0,94	y = 1,06x+9,83 R² = 0,92	83	y = 0,34x+15,62 R² = 0,89	y = 0,22x+28,66 R² = 0,99	53	y = 0,22x+11,72 R² = 0,95	y = 0,20x+16,19 R² = 0,99	34
Образец 10	y = 2,00x+7,32 R² = 0,98	y = 0,58x+65,87 R² = 0,97	89	y = 0,32x+16,63 R² = 0,88	y = 0,23x+25,82 R² = 0,99	53	y = 0,22x+12,48 R² = 0,95	y = 0,18x+23,67 R² = 0,99	37
Образец	**Корреляционная зависимость между периодом ускоренного хранения и значением перекисного числа**								
Образец 1	y = 11,82x-12,10 R² = 0,96	y = 5,60x+21,88 R² = 0,99	73	y = 5,19x-5,40 R² = 0,95	y = 2,39x+11,65 R² = 0,97	28	y = 5,41x-6,64 R² = 0,98	y = 2,24x+9,78 R² = 0,99	22
Образец 2	y = 17,70x-8,93 R² = 0,96	y = 6,42x+35,02 R² = 0,99	75	y = 12,53x-9,36 R² = 0,96	y = 1,92x+20,71 R² = 0,99	26	y = 7,91x-6,10 R² = 0,99	y = 2,38x+15,12 R² = 0,98	24
Образец 3	y = 13,98x-8,74 R² = 0,98	y = 6,79x+23,48 R² = 0,97	68	y = 10,38x-9,70 R² = 0,99	y = 1,43x+15,89 R² = 0,99	20	y = 5,69x-5,00 R² = 0,99	y = 1,84x+10,44 R² = 0,99	18
Образец 4	y = 20,82x+4,24 R² = 0,92	y = 6,54x+54,18 R² = 0,99	84	y = 12,09x-0,50 R² = 0,93	y = 1,85x+30,55 R² = 0,94	37	y = 7,76x+0,26 R² = 0,95	y = 2,44x+22,50 R² = 0,99	33
Образец 5	y = 9,97x-18,64 R² = 0,99	y = 5,36x+9,71 R² = 0,99	37	y = 6,35x-12,57 R² = 0,98	y = 1,97x+5,18 R² = 0,99	13	y = 2,59x-4,27 R² = 0,96	y = 2,00x-1,74 R² = 0,99	7
Образец 6	y = 12,53x+1,89 R² = 0,92	y = 6,38x+27,84 R² = 0,96	71	y = 8,93x-3,39 R² = 0,95	y = 2,16x+23,71 R² = 0,99	33	y = 7,81x-3,94 R² = 0,96	y = 2,27x+15,24 R² = 0,89	23
Образец 7	y = 17,47x-16,24 R² = 0,97	y = 5,70x+34,69 R² = 0,99	60	y = 5,87x-5,92 R² = 0,96	y = 1,54x+13,10 R² = 0,99	20	y = 3,39x-3,10 R² = 0,97	y = 1,66x+5,99 R² = 0,99	14
Образец 8	y = 21,13x-1,13 R² = 0,92	y = 6,12x+47,99 R² = 0,99	75	y = 10,72x-3,99 R² = 0,97	y = 1,97x+23,44 R² = 0,93	29	y = 6,84x-2,73 R² = 0,99	y = 2,38x+14,64 R² = 0,99	24
Образец 9	y = 16,54x-14,55 R² = 0,99	y = 6,85x+40,77 R² = 0,99	62	y = 9,61x-10,41 R² = 0,99	y = 1,65x+19,99 R² = 0,99	27	y = 4,56x-5,07 R² = 0,99	y = 2,10x+7,57 R² = 0,99	18
Образец 10	y = 24,33x+0,44 R² = 0,92	y = 6,04x+59,97 R² = 0,99	80	y = 16,11x-5,06 R² = 0,96	y = 2,60x+28,79 R² = 0,98	35	y = 11,06x-4,12 R² = 0,98	y = 2,13x+21,52 R² = 0,97	28
Образец	**Корреляционная зависимость между периодом ускоренного хранения и значением тиобарбитурового числа**								

Продолжение таблицы В.1

Образец 1	y = 84,45x-8,85 R² = 0,99	y = 91,27x-16,08 R² = 0,99	70	y = 13,74x+4,29 R² = 0,91	y = 7,32x+12,61 R² = 0,92	28	y = 18,23x-1,01 R² = 0,97	y = 3,33x+15,61 R² = 0,99	19
Образец 2	y = 89,60x-6,40 R² = 0,99	y = 91,33x-9,47 R² = 0,99	66	y = 23,55x-0,17 R² = 0,97	y = 4,45x+28,56 R² = 0,96	30	y = 14,01x-0,31 R² = 0,97	y = 4,42x+12,06 R² = 0,81	18
Образец 3	y = 91,61x-7,47 R² = 0,99	y = 94,93x-19,85 R² = 0,99	65	y = 23,01x-1,20 R² = 0,99	y = 4,43x+25,45 R² = 0,97	33	y = 11,16x-0,40 R² = 0,98	y = 4,14x+9,29 R² = 0,99	18
Образец 4	y = 109,51x+2,30 R² = 0,99	y = 86,18x+18,00 R² = 0,99	78	y = 29,37x+3,23 R² = 0,92	y = 5,73x+26,34 R² = 0,96	32	y = 22,27x+2,40 R² = 0,89	y = 18,01x+5,74 R² = 0,99	23
Образец 5	y = 74,30x-9,74 R² = 0,99	y = 73,66x-14,52 R² = 0,99	47	y = 17,52x-0,92 R² = 0,96	y = 3,59x+21,48 R² = 0,99	21	y = 11,93x-1,74 R² = 0,99	y = 2,96x+8,78 R² = 0,99	12
Образец 6	y = 72,45x+4,48 R² = 0,98	y = 98,04x-18,84 R² = 0,99	70	y = 25,54x+2,13 R² = 0,91	y = 5,17x+20,74 R² = 0,97	25	y = 26,26x+0,11 R² = 0,95	y = 5,08x+14,90 R² = 0,99	18
Образец 7	y = 83,77x-7,67 R² = 0,99	y = 71,72x+0,29 R² = 0,99	64	y = 16,33x+0,83 R² = 0,93	y = 3,65x+20,66 R² = 0,99	27	y = 13,62x-0,43 R² = 0,96	y = 3,90x+11,32 R² = 0,99	16
Образец 8	y = 107,60x+4,15 R² = 0,96	y = 62,42x+30,94 R² = 0,99	69	y = 27,40x+3,82 R² = 0,87	y = 5,01x+28,67 R² = 0,98	31	y = 19,65x+0,19 R² = 0,95	y = 4,25x+12,78 R² = 0,99	20
Образец 9	y = 99,42x-16,30 R² = 0,99	y = 63,47x+21,32 R² = 0,99	74	y = 17,06x-1,42 R² = 0,98	y = 5,24x+11,49 R² = 0,82	33	y = 11,38x-1,35 R² = 0,99	y = 3,65x+8,27 R² = 0,99	23
Образец 10	y = 165,09x+2,26 R² = 0,98	y = 61,11x+51,11 R² = 0,99	67	y = 24,83x+3,51 R² = 0,92	y = 6,73x+26,39 R² = 0,95	35	y = 25,40x+1,07 R² = 0,90	y = 6,23x+14,12 R² = 0,98	19
Образец	**Корреляционная зависимость между периодом ускоренного хранения и содержанием конъюгированных диенов**								
Образец 1	y = 55,08x-96,98 R² = 0,99	y = 11,51x+50,93 R² = 0,97	71	y = 14,53x-22,42 R² = 0,91	y = 4,36x+10,61 R² = 0,95	35	y = 9,29x-14,59 R² = 0,94	y = 1,98x+15,78 R² = 0,99	24
Образец 2	y = 102,18x-138,51 R² = 0,99	y = 15,55x+61,24 R² = 0,91	77	y = 12,51x-11,98 R² = 0,92	y = 3,87x+21,21 R² = 0,99	37	y = 11,17x-13,01 R² = 0,97	y = 2,55x+19,51 R² = 0,99	29
Образец 3	y = 67,11x-100,53 R² = 0,98	y = 8,48x+64,64 R² = 0,97	78	y = 12,98x-15,58 R² = 0,95	y = 4,59x+17,90 R² = 0,99	37	y = 7,12x-7,54 R² = 0,87	y = 3,08x+7,21 R² = 0,99	29
Образец 4	y = 92,71x-81,46 R² = 0,97	y = 14,70x+57,95 R² = 0,99	75	y = 16,32x-10,13 R² = 0,93	y = 3,65x+27,30 R² = 0,99	38	y = 14,09x-9,72 R² = 0,93	y = 2,33x+25,31 R² = 0,98	27

Продолжение таблицы В.1

Образец 5	y = 18,79x-35,28 R² = 0,90	y = 4,51x+31,27 R² = 0,98	55	y = 10,61x-23,13 R² = 0,98	y = 4,04x+5,30 R² = 0,99	23	y = 5,42x-11,84 R² = 0,97	y = 2,10x+5,50 R² = 0,99	17
Образец 6	y = 51,97x-43,32 R² = 0,91	y = 22,43x+28,35 R² = 0,98	74	y = 13,10x-8,86 R² = 0,93	y = 3,76x+22,96 R² = 0,97	36	y = 11,64x-10,59 R² = 0,95	y = 2,56x+17,47 R² = 0,99	26
Образец 7	y = 29,00x-31,56 R² = 0,96	y = 11,22x+34,86 R² = 0,99	68	y = 13,47x-16,08 R² = 0,97	y = 2,96x+26,56 R² = 0,95	39	y = 8,08x-9,49 R² = 0,94	y = 2,88x+9,71 R² = 0,98	23
Образец 8	y = 120,58x-131,20 R² = 0,99	y = 17,03x+58,46 R² = 0,97	80	y = 15,60x-912,46 R² = 0,94	y = 3,17x+27,13 R² = 0,97	37	y = 12,70x-11,05 R² = 0,96	y = 2,61x+25,34 R² = 0,98	30
Образец 9	y = 56,19x-73,77 R² = 0,76	y = 6,97x+63,66 R² = 0,98	74	y = 16,57x-23,54 R² = 0,94	y = 2,96x+25,16 R² = 0,96	36	y = 11,92x-17,57 R² = 0,98	y = 3,29x+16,08 R² = 0,98	29
Образец 10	y = 77,37x-55,04 R² = 0,95	y = 13,30x+63,92 R² = 0,97	81	y = 18,00x-9,58 R² = 0,95	y = 3,38x+37,84 R² = 0,99	48	y = 15,45x-9,00 R² = 0,96	y = 2,77x+33,47 R² = 0,97	33

Источник: составлено автором

Таблица В.2 – Уравнения регрессии и значение коэффициента детерминации для периодов инициации и развития окислительных процессов в образцах ядер грецких орехов, обработанных антиоксидантом дигидрокверцетином в различных концентрациях, в процессе ускоренного хранения по физико-химическим показателям окислительной порчи

Образец	**Ускоренное хранение при 35 °С**			**Ускоренное хранение при 45 °С**			**Ускоренное хранение при 55 °С**		
	Уравнение регрессии и R² для периода инициации окислительных процессов	**Уравнение регрессии и R² для периода развития окислительных процессов**	**Рассчитанное окончание периода инициации окислительных процессов (сутки)**	**Уравнение регрессии и R² для периода инициации окислительных процессов**	**Уравнение регрессии и R² для периода развития окислительных процессов**	**Рассчитанное окончание периода инициации окислительных процессов (сутки)**	**Уравнение регрессии и R² для периода инициации окислительных процессов**	**Уравнение регрессии и R² для периода развития окислительных процессов**	**Рассчитанное окончание периода инициации окислительных процессов (сутки)**

Продолжение таблицы В.2

	Корреляционная зависимость между периодом ускоренного хранения и содержанием пропаналя								
Контроль	y = 0,97x+9,45 R² = 0,97	y = 0,79x+7,40 R² = 0,96	85	y = 0,38x+17,32 R² = 0,87	y = 0,26x+30,86 R² = 0,99	55	y = 0,22x+15,95 R² = 0,90	y = 0,19x+20,15 R² = 0,99	38
Обработка 0,001 % раствором	y = 0,97x+9,49 R² = 0,97	y = 0,79x+7,32 R² = 0,96	85	y = 0,38x+17,37 R² = 0,87	y = 0,27x+30,70 R² = 0,99	55	y = 0,22x+15,97 R² = 0,90	y = 0,19x+20,21 R² = 0,99	38
Обработка 0,005 % раствором	y = 0,97x+9,54 R² = 0,97	y = 0,79x+7,30 R² = 0,96	87	y = 0,38x+17,41 R² = 0,87	y = 0,27x+30,71 R² = 0,99	56	y = 0,22x+15,98 R² = 0,90	y = 0,19x+20,19 R² = 0,99	38
Обработка 0,01 % раствором	y = 1,49x+14,23 R² = 0,92	y = 0,60x+56,44 R² = 0,98	96	y = 1,34x+19,23 R² = 0,82	y = 0,32x+64,27 R² = 0,99	77	y = 0,96x+19,53 R² = 0,79	y = 0,21x+68,55 R² = 0,99	43
Обработка 0,02 % раствором	y = 10,91x+17,04 R² = 0,79	y = 0,64x+83,32 R² = 0,98	115	y = 7,90x+9,95 R² = 0,94	y = 0,32x+83,50 R² = 0,99	87	y = 2,78x+13,43 R² = 0,91	y = 0,24x+87,51 R² = 0,93	51
Образец	**Корреляционная зависимость между периодом ускоренного хранения и содержанием гексаналя**								
Контроль	y = 2,00x+7,32 R² = 0,98	y = 0,58x+65,87 R² = 0,97	89	y = 0,32x+16,63 R² = 0,88	y = 0,23x+25,82 R² = 0,99	53	y = 0,22x+12,48 R² = 0,95	y = 0,18x+23,67 R² = 0,99	37
Обработка 0,001 % раствором	y = 2,06x+7,15 R² = 0,98	y = 0,59x+65,95 R² = 0,98	89	y = 0,32x+16,69 R² = 0,88	y = 0,24x+25,56 R² = 0,99	53	y = 0,22x+12,48 R² = 0,95	y = 0,18x+23,74 R² = 0,99	37
Обработка 0,005 % раствором	y = 2,14x+7,26 R² = 0,98	y = 0,59x+66,83 R² = 0,97	91	y = 0,32x+16,73 R² = 0,88	y = 0,24x+25,73 R² = 0,99	54	y = 0,22x+12,52 R² = 0,95	y = 0,18x+24,03 R² = 0,99	38
Обработка 0,01 % раствором	y = 2,28x+10,55 R² = 0,96	y = 1,24x+46,71 R² = 0,98	100	y = 0,85x+19,20 R² = 0,84	y = 0,24x+64,52 R² = 0,98	84	y = 0,58x+17,22 R² = 0,85	y = 0,19x+53,68 R² = 0,99	50

Продолжение таблицы В.2

Обработка 0,02 % раствором	y = 22,27x+3,06 R² = 0,89	y = 1,11x+91,41 R² = 0,93	126	y = 6,28x+12,19 R² = 0,88	y = 0,38x+78,21 R² = 0,99	87	y = 0,77x+16,98 R² = 0,86	y = 0,26x+55,72 R² = 0,99	56
Образец	**Корреляционная зависимость между периодом ускоренного хранения и значением перекисного числа**								
Контроль	y = 24,33x+0,44 R² = 0,92	y = 6,04x+59,97 R² = 0,99	80	y = 16,11x-5,06 R² = 0,96	y = 2,60x+28,79 R² = 0,98	35	y = 11,06x-4,12 R² = 0,98	y = 2,13x+21,52 R² = 0,97	28
Обработка 0,001 % раствором	y = 24,35x+0,67 R² = 0,92	y = 6,04x+60,04 R² = 0,99	80	y = 16,16x-4,96 R² = 0,95	y = 2,60x+28,81 R² = 0,98	35	y = 11,10x-4,13 R² = 0,98	y = 2,14x+21,53 R² = 0,97	28
Обработка 0,005 % раствором	y = 24,40x+1,11 R² = 0,92	y = 6,04x+60,23 R² = 0,99	81	y = 16,24x-4,69 R² = 0,95	y = 2,60x+28,86 R² = 0,98	35	y = 11,15x-4,03 R² = 0,97	y = 2,14x+21,55 R² = 0,97	28
Обработка 0,01 % раствором	y = 61,31x-15,37 R² = 0,84	y = 5,75x+75,86 R² = 0,99	91	y = 29,67x-9,46 R² = 0,91	y = 4,18x+39,61 R² = 0,97	47	y = 14,58x-3,54 R² = 0,95	y = 3,63x+29,75 R² = 0,97	34
Обработка 0,02 % раствором	y = 179,26x-77,27 R² = 0,97	y = 9,18x+84,65 R² = 0,92	114	y = 41,78x-6,47 R² = 0,71	y = 4,08x+55,72 R² = 0,96	75	y = 21,43x-5,41 R² = 0,94	y = 3,10x+40,21 R² = 0,98	48
Образец	**Корреляционная зависимость между периодом ускоренного хранения и значением тиобарбитурового числа**								
Контроль	y = 165,09x+2,26 R² = 0,98	y = 61,11x+51,11 R² = 0,99	67	y = 24,83x+3,51 R² = 0,92	y = 6,73x+26,39 R² = 0,95	35	y = 25,40x+1,07 R² = 0,90	y = 6,23x+14,12 R² = 0,98	19
Обработка 0,001 % раствором	y = 163,72x+3,15 R² = 0,97	y = 61,09x+51,14 R² = 0,99	67	y = 26,91x+3,57 R² = 0,92	y = 6,73x+26,41 R² = 0,95	35	y = 25,49x+1,12 R² = 0,90	y = 6,22x+14,14 R² = 0,98	19
Обработка 0,005 % раствором	y = 163,47x+3,75 R² = 0,97	y = 61,00x+51,28 R² = 0,99	69	y = 25,08x+3,72 R² = 0,91	y = 6,72x+26,48 R² = 0,95	36	y = 25,62x+1,15 R² = 0,90	y = 6,22x+14,17 R² = 0,98	19

Продолжение таблицы В.2

Обработка 0,01 % раствором	y = 191,42x+6,42 R² = 0,92	y = 55,00x+61,12 R² = 0,99	84	y = 85,20x+2,12 R² = 0,94	y = 9,77x+46,79 R² = 0,96	53	y = 24,38x+2,27 R² = 0,92	y = 6,81x+20,84 R² = 0,95	29
Обработка 0,02 % раствором	y = 492,21x-6,41 R² = 0,96	y = 73,91x+77,04 R² = 0,97	102	y = 190,70x+0,86 R² = 0,94	y = 12,36x+64,02 R² = 0,95	69	y = 52,09x+2,66 R² = 0,91	y = 5,70x+31,08 R² = 0,98	35
Образец	**Корреляционная зависимость между периодом ускоренного хранения и содержанием конъюгированных диенов**								
Контроль	y = 77,37x-55,04 R² = 0,95	y = 13,30x+63,92 R² = 0,97	81	y = 18,00x-9,58 R² = 0,95	y = 3,38x+37,84 R² = 0,99	48	y = 15,45x-9,00 R² = 0,96	y = 2,77x+33,47 R² = 0,97	33
Обработка 0,001 % раствором	y = 77,07x-54,56 R² = 0,95	y = 13,30x+63,92 R² = 0,97	81	y = 17,99x-9,52 R² = 0,95	y = 3,38x+37,84 R² = 0,99	48	y = 15,43x-8,95 R² = 0,96	y = 2,77x+33,47 R² = 0,97	33
Обработка 0,005 % раствором	y = 76,83x-53,96 R² = 0,95	y = 13,30x+63,93 R² = 0,97	83	y = 18,00x-9,43 R² = 0,94	y = 3,38x+37,86 R² = 0,99	49	y = 15,43x-8,92 R² = 0,96	y = 2,77x+33,48 R² = 0,97	33
Обработка 0,01 % раствором	y = 78,82x-51,67 R² = 0,93	y = 12,86x+70,04 R² = 0,95	94	y = 27,11x-12,58 R² = 0,86	y = 4,56x+44,83 R² = 0,97	57	y = 18,01x-8,20 R² = 0,92	y = 3,52x+36,87 R² = 0,99	40
Обработка 0,02 % раствором	y = 260,86x-201,53 R² = 0,93	y = 12,29x+77,18 R² = 0,95	121	y = 61,73x-39,67 R² = 0,84	y = 4,86x+56,98 R² = 0,97	66	y = 37,28x-21,66 R² = 0,87	y = 3,75x+49,71 R² = 0,97	51

Источник: составлено автором

Приложение Г

(обязательное)

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова»
(ФГБОУ ВО «РЭУ им. Г.В. Плеханова»)

«УТВЕРЖДАЮ»
Проректор по научной деятельности
_____ В.Г. Минашкин
«___» _____ 2018 г.

Методика
определения прогнозируемых остаточных сроков годности грецких орехов

Москва, 2018

Настоящая методика разработана для определения остаточных сроков годности ядер грецких орехов без скорлупы, хранящихся при температуре 20 ± 3 °С и относительной влажности воздуха не более 75 %, на основе исходных значений физико-химических показателей окислительной порчи масла грецкого ореха перед непосредственным фасованием и упаковыванием.

1. Остаточный срок годности ядер грецких орехов без скорлупы, хранящихся при температуре 20 ± 3 °С и относительной влажности воздуха не более 75 % (в соответствии с ГОСТ 16833-2014 (UNECE STANDARD DDP-02:2001) «Ядро ореха грецкого. Технические условия») определяется на основе значений физико-химических показателей окислительной порчи (перекисного, тиобарбитурового чисел и содержания конъюгированных диенов) масла грецкого ореха, полученных непосредственно перед фасованием и упаковыванием орехов в потребительскую упаковку.

2. Остаточный срок годности ядер грецких орехов определяется в случае, если значения физико-химических показателей окислительной порчи масла грецкого ореха не превышают установленные диапазоны критических значений данных показателей (таблица 1).

Таблица 1 – Критические значения физико-химических показателей окислительной порчи грецких орехов при наступлении неприемлемых органолептических характеристик

Показатель	**Диапазон значений**
Содержание пропаналя, мкг/кг орехов	85,0-90,5
Содержание гексаналя, мкг/кг орехов	45,9-52,4
Перекисное число, ммоль ½ О/кг масла	6,4-6,5
Тиобарбитуровое число, мг малонового диальдегида/кг масла	0,7-0,8
Содержание конъюгированных диенов, ммоль/л	2,3-2,4

3. Определение максимального прогнозируемого остаточного срока годности ядер грецких орехов проводится с помощью полиномиальных аппроксимационных моделей четвертого и пятого порядков, представленных в таблице 2.

Таблица 2 – Зависимость прогнозируемых остаточных сроков годности грецкого ореха от исходных значений физико-химических показателей окислительной порчи

	Уравнение регрессии	**Величина достоверности аппроксимации**
Зависимость прогнозируемого	$y = -0{,}0083x^4 + 0{,}264x^3 -$	$R^2 = 0{,}9870$

остаточного срока годности грецких орехов от исходного значения перекисного числа	$1,4844x^2 - 20,907x + 177,44$	
Зависимость прогнозируемого остаточного срока годности образцов грецких орехов от исходного значения тиобарбитурового числа	$y = 3344,1x^5 - 8794,2x^4 + 7593x^3 - 2131,9x^2 - 207,71x + 196,18$	$R^2 = 0,9703$
Зависимость прогнозируемого остаточного срока годности образцов грецких орехов от исходного содержания конъюгированных диенов	$y = -9,2886x^5 + 97,786x^4 - 352,64x^3 + 497,5x^2 - 281,02x + 212,33$	$R^2 = 0,9832$

4. За максимальный прогнозируемый остаточный срок годности грецких орехов принимается срок годности, по истечении которого заканчивается инициация окислительных процессов в жирах грецких орехов и начинается непосредственно процесс окисления, сопровождающийся проявлением признаков окисления (прогорклости) в органолептических показателях.

5. Рекомендуемый прогнозируемый остаточный срок годности грецких орехов – срок годности, по истечении которого непродолжительное время сохраняется запас качества грецких орехов и не проявляются органолептические признаки окисления (прогорклости). Рекомендуемый прогнозируемый остаточный срок годности устанавливается в размере 80 % от максимального прогнозируемого остаточного срока годности.

6. Максимальный и рекомендуемый прогнозируемые остаточные сроки годности грецких орехов в случае наличия нескольких исходных физико-химических показателей окислительной порчи определяются путем усреднения полученных результатов определения сроков годности по каждому из физико-химических показателей окислительной порчи.

7. Полученный рекомендуемый остаточный срок годности грецких орехов служит основанием для установления производителем срока годности конкретной партии грецких орехов при их фасовании и упаковывании в потребительскую упаковку.

8. Относительная погрешность полученных результатов составляет ± 8 %.