

На правах рукописи



Тимакова Роза Темерьяновна

**НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ
И ОБЕСПЕЧЕНИЯ СОХРАНЯЕМОСТИ ПИЩЕВОЙ ПРОДУКЦИИ,
ОБРАБОТАННОЙ ИОНИЗИРУЮЩИМ ИЗЛУЧЕНИЕМ**

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

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Екатеринбург – 2020

Работа выполнена на кафедре пищевой инженерии
Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Уральский государственный экономический университет»

Научный консультант: доктор технических наук, профессор
Тихонов Сергей Леонидович (Россия),
заведующий кафедрой пищевой инженерии
ФГБОУ ВО «Уральский государственный
экономический университет»

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Елисеева Людмила Геннадьевна (Россия),
профессор кафедры товароведения и товарной
экспертизы ФГБОУ ВО «Российский
экономический университет им. Г. В. Плеханова»

доктор технических наук, доцент
Харенко Елена Николаевна (Россия),
заместитель директора по научной работе ФГБНУ
«Всероссийский научно-исследовательский
институт рыбного хозяйства и океанографии
(ВНИРО)»

доктор технических наук, профессор
Шипулин Валентин Иванович (Россия),
профессор кафедры пищевых технологий и
инжиниринга ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский
федеральный университет»

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Кемеровский государственный университет»

Защита диссертации состоится 18 декабря 2020 г. в 10:00 на заседании диссертационного совета Д 212.287.02 при ФГБОУ ВО «Уральский государственный экономический университет» по адресу: 620144, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта/Народной Воли, 62/45, ФГБОУ ВО «Уральский государственный экономический университет», зал диссертационных советов (ауд. 150).

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке ФГБОУ ВО «Уральский государственный экономический университет». Автореферат размещен на официальном сайте ВАК при Минобрнауки России: <https://vak.minobrnauki.gov.ru> и на сайте ФГБОУ ВО «Уральский государственный экономический университет»: <http://science.usue.ru>.

Автореферат разослан « ____ » _____ 2020 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат технических наук, доцент



О. В. Феофилактова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследований. В соответствии с указом Президента РФ от 01.12.2016 № 642 «О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации» обеспечение продовольственной безопасности России и конкурентоспособности отечественной продукции на мировых рынках продовольствия определяется технологиями.

Одной из перспективных технологий увеличения срока годности пищевой продукции считается ее обработка ионизирующим излучением. В России реализуется «Дорожная карта по продвижению радиационных технологий для консервирования продовольственного сырья и пищевой продукции». Национальным стандартом ГОСТ Р ИСО 22000-2019 «Системы менеджмента безопасности пищевой продукции. Требования к организациям, участвующим в цепи создания пищевой продукции» устанавливаются требования к системе менеджмента безопасности пищевых продуктов, что позволяет оформить обработку ионизирующим излучением (облучение) продуктов как часть плана системы НАССР. Примером внедрения радиационных технологий является открытие первого в России специализированного центра по обработке продуктов растительного и животного происхождения потоком ускоренных электронов ООО «Теклеор».

Вместе с тем остается много нерешенных вопросов в области обработки пищевой продукции ионизирующим излучением, в частности, отсутствие на государственном уровне планомерной просветительской работы об эффективности и безопасности ионизирующего излучения при обработке пищевой продукции; боязнь репутационных рисков со стороны производителей продовольственного сырья и пищевых продуктов, а также несовершенство отечественной нормативной базы в области количественного определения поглощенных доз ионизирующего излучения.

Степень разработанности темы исследования. Радиационные технологии, базирующиеся на ядерных технологиях неэнергетического характера их использования, возможно применять для обработки ионизирующим излучением пищевой продукции с целью продления сроков годности при соответствующей качественной и количественной идентификации обработанной ионизирующим излучением (облученной) пищевой продукции методом электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) и регламентации доз облучения для обеспечения качества пищевой продукции в процессе хранения. На мировом уровне вопросами радиационной безопасности продовольствия занимаются ФАО, ВОЗ, МАГАТЭ, Международная консультативная группа по облучению пищевых продуктов.

В разные годы исследованию ЭПР посвящены работы таких ученых и исследователей, как Л. И. Анциферова, Л. А. Блюменфельд, В. В. Воеводский, С. В. Вонсовский, С. А. Дзюба, Т. Дж. Инграм, Н. И. Корст, В. И. Криничный, Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц, А. Г. Семенов, D. P. Barr, R. C. Baetzold, S. S. Eaton, A. E. Chiaravalle, M. Martinelli, M. Ono,

L. A. Pardi, D. W. M. Sin, M. Uchida, R. T. Weber и др. Существенный вклад в исследование обработанной ионизирующим излучением (облученной) продукции внесли Р. М. Алексахин, С. А. Гераськин, А. С. Казиахмедов, Г. В. Козьмин, А. М. Кузин, Т. К. Лебская, М. Н. Мейсель, Л. В. Метлицкий, С. М. Орехова, А. П. Нечипоренко, В. И. Рогачев, Н. И. Санжарова, А. Н. Тихонов, Т. В. Чиж, T. G. Dias, J. F. Diehl, M. Erkan, G. A. González-Aguilar, A. Günlü, I. Genc, G. B. Fanaro, S. R. Kanatt, Ö. M. Özden, S. D. Pillai, S. Shayanfar, S. Sheen, C. Sommers, D. W. Thayer, H. Wang и др. Над вопросами исследования безопасности, качества и сохраняемости пищевой продукции работают академики РАН И. Ф. Горлов, А. Б. Лисицын, И. А. Рогов, Е. И. Титов, член-корреспондент РАН И. М. Чернуха и ученые Б. А. Баженова, Р. Грау, Г. В. Гуринович, Г. О. Ежкова, Л. Г. Елисеева, А. И. Жаринов, В. И. Криштафович, Л. С. Кудряшов, А. А. Мосолов, О. К. Мотовилов, О. Ю. Осадчая, В. А. Панин, В. М. Позняковский, М. И. Сложенкина, Я. Н. Узаков, Е. Н. Харенко, Е. В. Царегородцева, В. И. Шипулин, W. Dyer, S. Roach и др. Несмотря на множество отечественных и зарубежных исследований, технология идентификации пищевой продукции, обработанной ионизирующим излучением, не адаптирована, что в определенной степени обусловлено несовершенством нормативных документов. Мало изучены вопросы проведения сравнительной ЭПР-спектроскопии пищевой продукции с разным химическим составом. Существует сложность в количественной дозиметрии поглощенных доз для пищевых продуктов с неоднородной структурой (костная ткань, мышечная ткань, кожа, чешуя, кожура, мякоть и др.) и разным агрегатным состоянием. Не установлены рациональные дозы ионизирующего излучения для разных видов пищевых продуктов и их регламентация. Отсутствует однозначная оценка безопасности пищевой продукции, обработанной ионизирующим излучением.

Цель работы – научно-практическое обоснование сохраняемости пищевой продукции, обработанной ионизирующим излучением, и ее идентификация.

Для достижения цели исследования поставлены следующие **задачи**:

- провести анализ зарубежной и отечественной нормативной документации, регламентирующей применение ионизирующего излучения для обработки пищевой продукции, и исследований зарубежных и отечественных ученых;
- разработать методику пробоподготовки пищевой продукции для исследования методом ЭПР;
- разработать методику количественного определения поглощенных доз ионизирующего излучения;
- обосновать возможность применения метода ЭПР для качественной и количественной идентификации пищевой продукции, обработанной ионизирующим излучением;
- исследовать влияние различных доз ионизирующего излучения на органолептические и физико-химические показатели, показатели свежести

сти, микробиологические показатели, антиоксидантную активность и теплофизические свойства пищевой продукции животного происхождения в процессе хранения и на продление сроков годности;

– исследовать влияние различных доз ионизирующего излучения на органолептические, физико-химические и микробиологические показатели, антиоксидантную активность пищевой продукции растительного происхождения в процессе хранения и на продление сроков годности;

– дать токсикологическую характеристику пищевой продукции, обработанной ионизирующим излучением.

Научная концепция. В основе научной концепции лежит научно-практический подход к идентификации обработанной ионизирующим излучением пищевой продукции и использованию ионизирующего излучения для обеспечения сохраняемости продовольственного сырья и продуктов питания в процессе хранения. В соответствии с Паспортом специальности 05.18.15 – Технология и товароведение пищевых продуктов функционального и специализированного назначения и общественного питания (технические науки) проводимые исследования обусловлены необходимостью разработки методологических основ качества и безопасности пищевых продуктов, основанных на базисных факторах, формирующих товарные и потребительские свойства, качество и безопасность пищевых продуктов.

Научная новизна. Диссертационная работа содержит элементы научной новизны, соответствующие п. 3, 4, 5 и 9 Паспорта специальности 05.18.15 – Технология и товароведение пищевых продуктов функционального и специализированного назначения и общественного питания (технические науки).

1. Научно обосновано преимущество разработанной методики пробоподготовки для образцов костной ткани мясного и рыбного сырья, впервые предложена методика пробоподготовки для образцов мышечной ткани мясного сырья и образцов кожи с чешуей рыбного сырья. Методика отличается увеличением продолжительности сушки до (27 ± 3) ч и температуры сушки до (40 ± 1) °С. Обоснована методика пробоподготовки кожицы яблок свежих со следующими технологическими параметрами: температура (40 ± 5) °С и время сушки 2–3 ч, позволяющая осуществлять идентификацию пищевой продукции, обработанной ионизирующим излучением. Сформированы математические модели нелинейной функции (\arccos) расчетной поверхностной поглощенной дозы ионизирующего излучения в зависимости от технологических параметров и вида пищевой продукции (п. 9 Паспорта специальности ВАК РФ 05.18.15).

2. Впервые разработана и научно обоснована методика количественного определения поглощенных доз ионизирующего излучения в пищевой продукции, сущность которой заключается в количественном определении поглощенной дозы на основе расчетной унифицированной формулы согласно ГОСТ Р 52529-2016. Построены математические модели, основан-

ные на статистически достоверной линейной зависимости изменения поглощенной дозы от дозы облучения и от площади ЭПР-сигнала (*п. 9 Паспорта специальности ВАК РФ 05.18.15*).

3. Впервые предложено проведение идентификации пищевой продукции, обработанной ионизирующим излучением, по составным частям: для мясного и рыбного сырья – по образцам костной и мышечной ткани; для рыбы – по образцам кожи с чешуей; для пряностей – по измельченным плодам; для яблок свежих – по кожице плодов. Впервые при проведении качественной и количественной идентификации пищевой продукции животного и растительного происхождения установлена зависимость изменения основных параметров ЭПР-сигнала: амплитуды, ширины и площади от дозы облучения. В качестве комплексного параметра предложено использовать площадь ЭПР-сигнала (*п. 9 Паспорта специальности ВАК РФ 05.18.15*).

4. На основании комплексной оценки безопасности и качества пищевой продукции животного и растительного происхождения научно обоснована и практически доказана эффективность применения ионизирующего излучения для увеличения сроков годности. Получены новые данные о пролонгации сроков годности пищевой продукции, обработанной ионизирующим излучением. После обработки охлажденной говядины дозой ионизирующего излучения до 10 кГр срок годности увеличивается в 1,9 раза (до 30 сут), охлажденной свинины дозой до 9 кГр – в 2,5 раза (до 30 сут), охлажденного мяса птицы дозой до 9 кГр – в 6 раз (до 30 сут), охлажденного мяса косули промыслового забоя дозой до 10 кГр – в 2,5 раза (до 30 сут), мясных полуфабрикатов (шейки свиной) дозой до 8 кГр – в 3 раза (до 30 сут) и охлажденного карпа дозой до 3 кГр – в 2,5 раза (до 30 сут); определены рациональные дозы ионизирующего излучения. После обработки яблок свежих дозой ионизирующего излучения до 3 кГр срок годности увеличивается в 1,2 раза (до 6 мес.), для пряностей молотых дозой 12 кГр – в 1,5 раза (до 18 мес.); определены рациональные дозы ионизирующего излучения (*п. 4 и 5 Паспорта специальности ВАК РФ 05.18.15*).

5. В доклиническом исследовании на лабораторных животных, сбалансированный рацион которых на 25 % заменен на мясное сырье, обработанное ионизирующим излучением, определены безопасные дозы ионизирующего излучения до 12 кГр (*п. 3 Паспорта специальности ВАК РФ 05.18.15*).

Теоретическая и практическая значимость работы.

Теоретическая. В настоящее время согласно действующим стандартам по применению радиационных технологий представляется возможным определить только факт обработки пищевой продукции ионизирующим излучением. Впервые проведен сравнительный анализ отечественной и зарубежной нормативной документации в области использования радиационных технологий для обработки пищевых продуктов и сельскохозяйственного сырья. Теоретическая значимость проведенных исследований заключается в возможности использования полученных результатов для совершен-

ствования нормативной базы по идентификации и определению поглощенных пищевой продукцией доз ионизирующего излучения.

Практическая. Научно-исследовательская работа по совершенствованию методов и средств контроля радиационной стерилизации продукции проводилась в соответствии с Соглашением № 61/2084-Д от 6 июня 2017 г. с АО «Институт реакторных материалов».

Разработана методика пробоподготовки для исследования методом ЭПР составных частей разных видов пищевой продукции, обработанной ионизирующим излучением, что позволило получить достоверные и стабильные результаты по определению поглощенной дозы ионизирующего излучения.

Впервые разработана методика количественного определения поглощенных доз ионизирующего излучения расчетным способом для разных видов пищевой продукции (мясное и рыбное сырье, пряности молотые, плоды свежие).

Доказана возможность применения метода ЭПР для качественной и количественной идентификации пищевых продуктов, обработанных ионизирующим излучением, по разным составным частям (костная и мышечная ткань, кожа с чешуей, кожица плодов, молотые плоды пряностей) в отличие от действующих стандартов (ГОСТ Р 52529-2006, ГОСТ 31672-2012, ГОСТ 31652-2012), что определяет необходимость совершенствования нормативной документации.

Установлены рациональные дозы ионизирующего излучения для пищевой продукции животного и растительного происхождения, обеспечивающие сохраняемость и продление сроков годности.

Разработана техническая документация на пищевую продукцию, обработанную ионизирующим излучением. Новизна технических решений подтверждена патентом РФ № 2683518 «Способ увеличения срока хранения вареных колбас». Утверждена нормативная документация: ТУ 03.22.20-004-02069214-2017 «Охлажденная рыба, обработанная ионизирующим излучением», ТУ 10.11.12-012-02069214-2018 «Охлажденная свинина, обработанная ионизирующим излучением», ТУ 10.11.11-013-02069214-2018 «Охлажденная говядина, обработанная ионизирующим излучением», ТУ 10.12.10-014-02069214-2018 «Охлажденное мясо кур (тушки кур, цыплят, цыплят-бройлеров), обработанное ионизирующим излучением», ТУ 10.11.16-015-02069214-2018 «Охлажденное мясо косули, обработанное ионизирующим излучением», ТУ 10.84.22-011-02069214-2019 «Перец черный молотый, обработанный ионизирующим излучением», ТУ 10.84.22-012-02069214-2019 «Чили жгучий молотый, обработанный ионизирующим излучением», ТУ 10.84.22-013-02069214-2019 «Чили острый молотый, обработанный ионизирующим излучением», ТУ 10.84.23-014-02069214-2019 «Куркума молотая (порошкообразная), обработанная ионизирующим излучением», ТУ 10.84.23-015-02069214-2019 «Перец белый молотый, обработанный ионизирующим излучением», ТУ 10.39.21-016-02069214-2019 «Яблоки свежие, обработанные ионизирующим излучением».

Результаты исследований легли в основу проектов ГОСТ на мясо, рыбу, пряности и плоды свежие, разработанных Межгосударственным техническим комитетом по стандартизации 534 «Обеспечение безопасности сельскохозяйственной продукции и продовольственного сырья на основе принципов НАССР»: «Мясо и мясные продукты. Метод электронного парамагнитного резонанса для выявления радиационно-обработанного мяса, содержащего костную ткань. Определение поглощенных доз»; «Мясо и мясные продукты. Метод электронного парамагнитного резонанса для выявления радиационно-обработанного бескостного мяса. Определение поглощенных доз»; «Рыба и рыботоровары. Метод электронного парамагнитного резонанса для выявления радиационно-обработанной рыбы, содержащей костную ткань и чешую. Определение поглощенных доз»; «Рыба и рыботоровары. Метод электронного парамагнитного резонанса для выявления радиационно-обработанной рыбы по мышечной ткани. Определение поглощенных доз»; «Пряности. Метод электронного парамагнитного резонанса для выявления радиационно-обработанных пряностей. Определение поглощенных доз»; «Плоды и ягоды свежие и переработанные. Метод электронного парамагнитного резонанса для выявления радиационно-обработанных плодов. Определение поглощенных доз».

Доказана безопасность пищевой продукции, обработанной ионизирующим излучением, при употреблении ее в пищу по результатам доклинических исследований. Практическое значение результатов исследований определяется возможностью использования разработанных методик пробоподготовки и количественного определения поглощенных доз ионизирующего излучения контролирующими органами для таможенного контроля ввозимой на территорию РФ пищевой продукции и ее идентификации на потребительском рынке, а также возможностью применения научно обоснованных оптимальных доз ионизирующего излучения в радиационных центрах по обработке пищевой продукции.

Полученные результаты диссертационной работы используются в учебном процессе на кафедре пищевой инженерии ФГБОУ ВО «Уральский государственный экономический университет» для бакалавров направлений «Биотехнология» и «Технологические машины и оборудование».

Методология и методы исследования. Методологической основой диссертационного исследования служит нормативная база в области обработки пищевой продукции ионизирующим излучением, регламентации и контроля процесса облучения, идентификации продукции методом ЭПР; труды и исследования отечественных и зарубежных ученых в области применения ионизирующего излучения как эффективного способа продления срока годности.

При проведении исследований использовались общепринятые и специальные методы сбора, обработки и анализа пищевой продукции, в том числе органолептические, физико-химические и статистические.

Положения, выносимые на защиту:

- теоретическое и практическое обоснование целесообразности использования ионизирующего излучения для обработки пищевых продуктов;
- разработанная и адаптированная методика пробоподготовки для исследования методом ЭПР разных видов пищевой продукции, обработанной ионизирующим излучением;
- разработанная методика количественного определения поглощенной дозы ионизирующего излучения;
- методика качественной и количественной идентификации пищевой продукции, обработанной ионизирующим излучением, по разным составным частям охлажденного мясного (в том числе мясных полуфабрикатов) и рыбного сырья, пряностей, плодов;
- результаты оценки безопасности и качества пищевых продуктов животного и растительного происхождения, обработанных ионизирующим излучением, в процессе хранения; установление рациональных доз ионизирующего излучения и обоснование пролонгации сроков годности;
- результаты токсикологической оценки пищевой продукции, обработанной ионизирующим излучением.

Степень достоверности результатов диссертационного исследования определяется глубиной исследования представленного экспериментального материала, использованием современных методов исследований и статистической обработки полученных результатов при непосредственном участии автора в разработке методик, проведении исследований и обработке экспериментальных результатов.

Апробация результатов исследований. Основные положения и результаты исследования обсуждены и доложены на конференциях международного и всероссийского уровня: «Индустриализация – основа нового экономического роста Казахстана» (Костанай, Республика Казахстан, 2016); «Новая индустриализация: мировое, национальное, региональное измерение» (Екатеринбург, 2016); «Современное хлебопекарное производство: перспективы развития» (Екатеринбург, 2016); «Стратегия 2050» – путь к стабильной экономике, политике и обществу» (Костанай, Республика Казахстан, 2017); «Научно-технологическое развитие сельского хозяйства и природопользования: взгляд в будущее» (Екатеринбург, 2017); «Продовольственная безопасность в контексте новых идей и решений» (Семей, Республика Казахстан, 2017); «Актуальные проблемы пищевой промышленности и общественного питания» (Екатеринбург, 2017); «Инновационные технологии в пищевой промышленности и общественном питании» (Екатеринбург, 2017); «Стратегические задачи по научно-техническому развитию АПК» (Екатеринбург, 2018); «Актуальные проблемы пищевой промышленности и общественного питания» (Екатеринбург, 2018); «Техника и технология пищевых производств» (Могилёв, Республика Беларусь, 2018); «Инновации в пищевой биотехнологии» (Кемерово, 2018); «Пищевая и морская биотехнология» (Калининград, 2018); «Инновационные техноло-

гии в сфере питания, сервиса и торговли» (Екатеринбург, 2018); «Продовольственная и пищевая безопасность» (Екатеринбург, 2019); «II Европейские игры – 2019: психолого-педагогические и медико-биологические аспекты подготовки спортсменов» (Минск, Республика Беларусь, 2019); «Инновационные технологии в пищевой промышленности и общественном питании» (Екатеринбург, 2019); «Региональный рынок потребительских товаров и продовольственная безопасность в условиях Сибири и Арктики» (Тюмень, 2019); «Техника и технология пищевых производств» (Могилёв, Республика Беларусь, 2020).

Публикации. По результатам исследований опубликовано 57 научных работ, в том числе 8 – в журналах и конференциях, входящих в международные реферативные базы данных Web of Science и Scopus, 23 – в журналах, включенных в перечень рецензируемых научных изданий ВАК; получен один патент на изобретение.

Структура и объем диссертационной работы. Диссертация состоит из введения, шести глав, выводов, списка литературы и 15 приложений. Основное содержание диссертации изложено на 371 странице машинописного текста, включает 81 рисунок и 57 таблиц. Список литературы насчитывает 534 источника, из них 225 зарубежных.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. Концептуальный подход к выбору радиационных технологий для обработки продовольственного сырья и пищевых продуктов. Проанализирована отечественная и зарубежная научно-техническая литература и патентная информация, проведен сравнительный анализ международной и отечественной нормативной базы по тематике исследования, регламентирующей технологические процессы обработки ионизирующим излучением, контроль процесса облучения (дозиметрию) и контроль обработанных пищевых продуктов (идентификацию) методом ЭПР. Выявлена проблема, требующая разработки адаптированной методики пробоподготовки и методики расчета поглощенных доз для разных видов пищевой продукции, обработанной ионизирующим излучением. Подтверждена актуальность выбранного направления проведения исследований по качественной и количественной идентификации продовольственного сырья и пищевых продуктов, обработанных ионизирующим излучением, методом ЭПР для подтверждения безопасности и качества пищевой продукции.

Глава 2. Организация эксперимента, объекты и методы исследования. Экспериментальная часть исследований выполнена на базе Уральского государственного экономического университета, Центра радиационной стерилизации Уральского федерального университета имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, предприятия ООО «Спектр» (Екатеринбург), ЗАО Комбинат пищевой «Хороший вкус» (Екатеринбург), Южно-Уральского государственного аграрного университета (Троицк).

Общая схема проведения исследований представлена на рисунке 1.

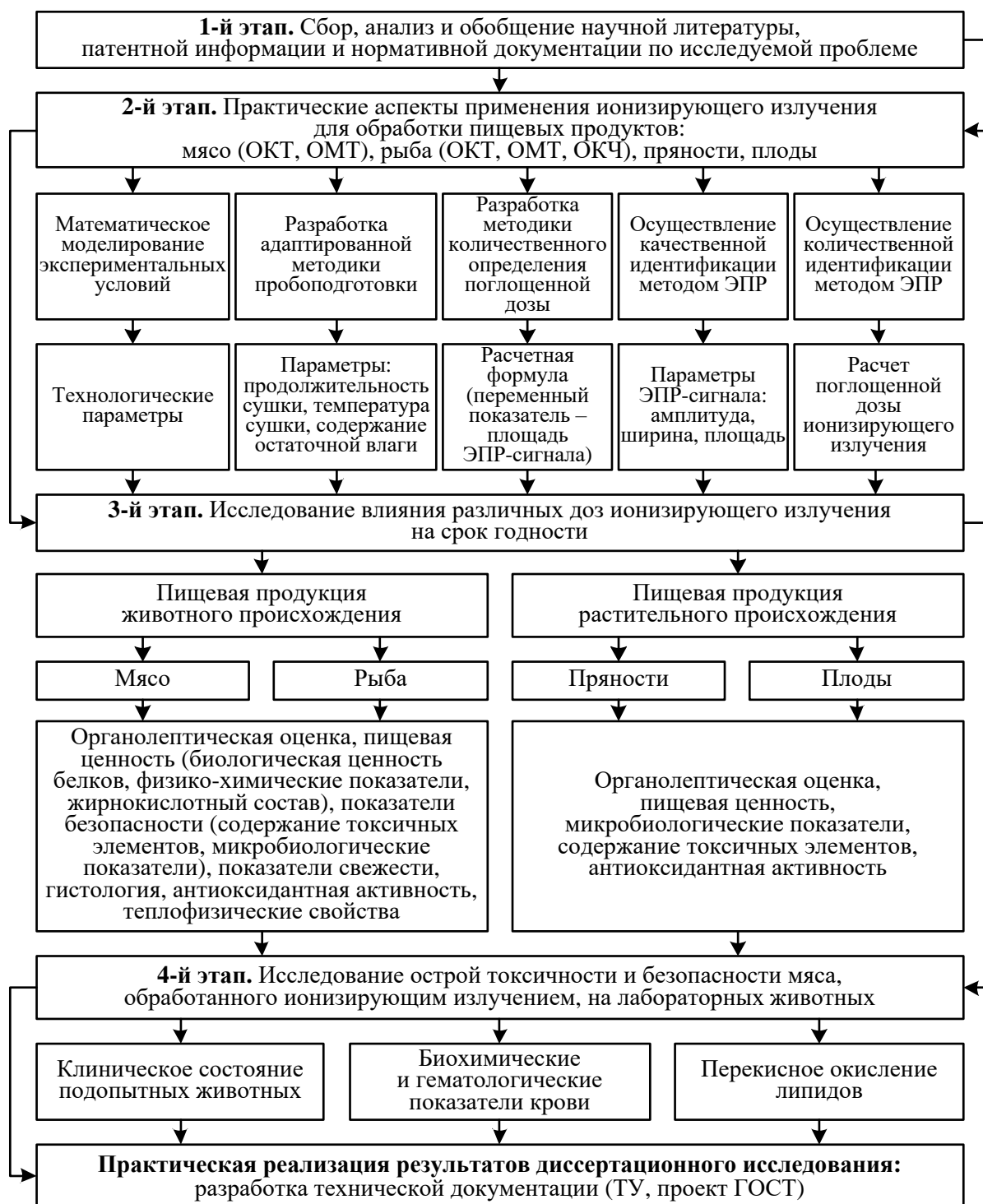


Рисунок 1 – Схема проведения диссертационных исследований

Объекты исследования: охлажденное мясное сырье (говядина, свинина, мясо птицы); охлажденные мясокостные полуфабрикаты, упакованные в модифицированную газовую среду; охлажденное мясо косули промышленного забоя; охлажденная рыба (карп обыкновенный); плоды свежие (яблоко свежее помологического сорта «Ренет Платона Симиренко»); пряности молотые: перец черный, перец белый, куркума, чили острый, чили жгучий;

лабораторные животные (половозрелые беспородные мыши в возрасте 3 мес. обоего пола); кровь лабораторных животных.

Предмет исследования – качественная и количественная идентификация различных видов пищевой продукции, обработанной разными дозами ионизирующего излучения, в соответствии с требованиями ГОСТ 33271-2015, ГОСТ 33820-2016, ГОСТ 33825-2016, ГОСТ 33302-2015, ГОСТ 34154-2017, ГОСТ 34155-2017 и ее сохраняемость.

В работе использованы стандартные и модифицированные методы исследований: метод ЭПР; потенциометрический метод; органолептические, физико-химические, биохимические, микробиологические, статистические методы исследования сырья и пищевых продуктов. Определение показателей качества проводили измерительным, расчетным, органолептическим и экспертным методами.

Глава 3. Качественная и количественная идентификация пищевой продукции, обработанной ионизирующим излучением, с использованием метода ЭПР. Для оперативного контроля и оценки технологического качества при обработке излучением объектов исследования проведено картирование поглощенной дозы, что позволило выполнить прогнозное моделирование расчетной поверхностной поглощенной дозы в зависимости от технологических параметров (скорости движения, энергии пучка, тока пучка, ширины сканирования) и видов пищевой продукции. Установлено, что максимальная концентрация излучения группируется в центре поверхности, равномерно рассеиваясь по мере отдаления от центра (рисунки 2 и 3), что свидетельствует об адекватной юстировке используемых приборов.

		Ширина, см								
		0	5	10	15	20	25	30	35	40
Длина, см	0	0,96	0,97	0,98	0,99	0,99	0,99	0,98	0,97	0,96
	5	0,97	0,98	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,98	0,97
	10	0,98	0,99	0,99	1	1	1	0,99	0,99	0,98
	15	0,98	0,99	0,99	1	1	1	0,99	0,99	0,98
	20	0,98	0,99	1	1	1	1	1	0,99	0,98
	25	0,98	0,99	1	1	1	1	1	0,99	0,98
	30	0,98	0,99	1	1	1	1	1	0,99	0,98
	35	0,98	0,99	1	1	1	1	1	0,99	0,98
	40	0,98	0,99	1	1	1	1	1	0,99	0,98
	45	0,98	0,99	0,99	1	1	1	0,99	0,99	0,98
	50	0,98	0,99	0,99	1	1	1	0,99	0,99	0,98
	55	0,97	0,98	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,98	0,97
60	0,96	0,97	0,98	0,99	0,99	0,99	0,98	0,97	0,96	

Рисунок 2 – Схема распределения поверхностной дозы (в соответствии с коэффициентами) – верхняя/нижняя поверхность технологической загрузки

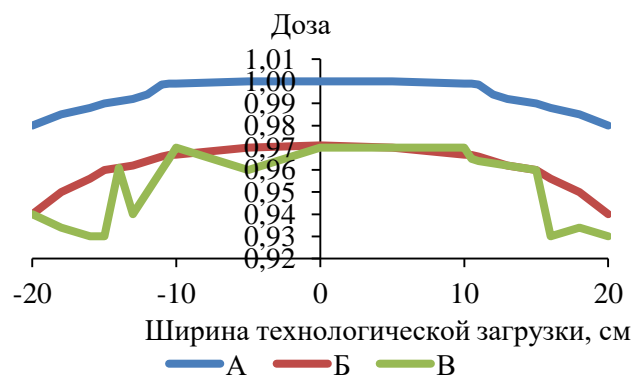


Рисунок 3 – Распределение поверхностной дозы (в соответствии с коэффициентами) на профильном разрезе технологической загрузки:
 А – верхняя/нижняя поверхность технологической загрузки;
 Б, В – горизонтальная проекция верхней поверхности технологической загрузки, расположенная на 1/2 высоты загрузки

В результате анализа экспериментальных условий адаптирована методика пробоподготовки для образцов костной ткани (ОКТ) разных видов сельскохозяйственных животных, птицы и рыбы с целью дальнейшей идентификации обработанной ионизирующим излучением пищевой продукции, содержащей костную ткань. Выдвинута гипотеза о возможности идентификация облученной пищевой продукции, в частности мяса и рыбы, по мышечной ткани и коже с чешуей. Для этого впервые разработана методика пробоподготовки для образцов кожи с чешуей (ОКЧ) и образцов мышечной ткани (ОМТ).

Установлено, что соблюдение предложенных параметров при пробоподготовке позволяет получить устойчивые ЭПР-спектры в многократной повторности и установить факт обработки излучением мясного и рыбного сырья по разным составным частям с высокой степенью достоверности.

Качественную идентификацию обработанного мясного сырья проводили по ОКТ и ОМТ, рыбного сырья – по ОКТ, ОМТ и ОКЧ согласно ГОСТ Р 52529-2006, выбранному в качестве методологической базы; пряностей – по молотым плодам согласно ГОСТ 31672-2012, плодов свежих – по коже яблок согласно ГОСТ 31652-2012, ГОСТ 31672-2012 путем исследования основных параметров ЭПР-спектра (амплитуды, ширины, площади).

При исследовании обработанных дозой 12 кГр ОКТ говядины зафиксирован характерный ЭПР-сигнал в диапазоне поля 3260–3300 Гс с амплитудой пика $(5,08 \pm 0,01) \cdot 10^{-4}$ отн. ед. и шириной сигнала $(8,32 \pm 0,12)$ Гс, площадь пика $(6,94 \pm 0,02) \cdot 10^{-3}$ отн. ед. ($p \leq 0,05$).

Полиномиальная модель ЭПР-спектров говядины, обработанной дозой 12 кГр:

$$Y = -8 \cdot 10^{-14} X^6 + 2 \cdot 10^{-9} X^5 - 1 \cdot 10^{-5} X^4 + 0,058 X^3 - 142,3 X^2 + 18611 X - 1 \cdot 10^8 \quad (R^2 = 0,21). \quad (1)$$

Установлено, что при увеличении дозы ионизирующего излучения с 3 до 12 кГр в ОКТ говядины возрастают: амплитуда – в 18,3 раза, площадь – в 13,5 раза при сужении ширины пика на 20,8 %.

Сравнительная ЭПР-спектроскопия после обработки дозой 12 кГр ОКТ и ОМТ мясного сырья показывает отличия в количественных характеристиках параметров ЭПР-сигнала в зависимости от вида составных частей (рисунок 4). В диапазоне поля 3260–3300 Гс ЭПР-сигналы ОКТ говядины отличаются более высокими значениями амплитуды (в 3,4 раза) и площади (в 2,3 раза) при сужении ширины (на 42,1 %) по сравнению с ОМТ.

Исследованы количественные характеристики параметров ЭПР-спектров в составных частях исследуемых объектов, обработанных разными дозами ионизирующего излучения. Установлено, что при увеличении дозы излучения увеличивается площадь ЭПР-спектра ($p \leq 0,05$).

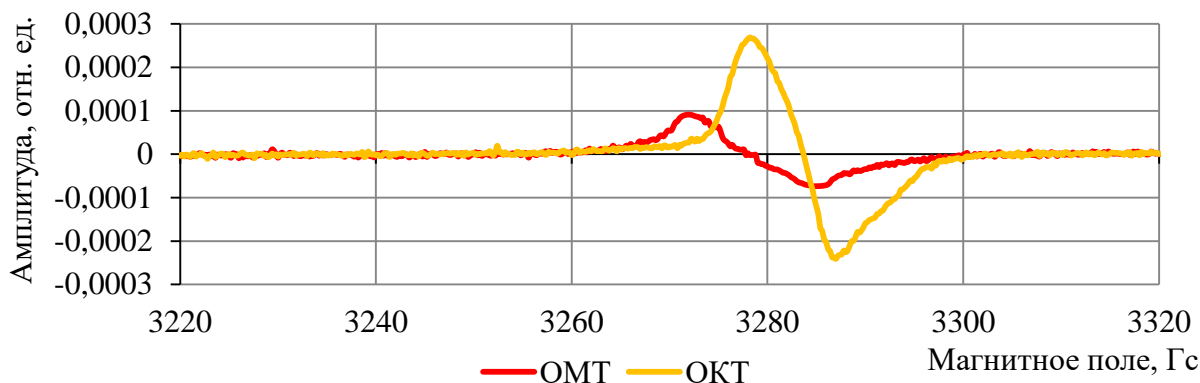


Рисунок 4 – Спектры ОКТ (g -фактор $2,0026 \pm 0,0001$) и ОМТ (g -фактор $2,0059 \pm 0,0003$) говядины, облученной дозой 12 кГр

По разработанной методике количественного определения поглощенной дозы ионизирующего излучения проведена количественная идентификация объектов исследования и рассчитана поглощенная доза экспресс-способом по адаптированной формуле в соответствии с ГОСТ 52529-2006. Внесены коррективы в единицы измерения параметров ЭПР-спектра: амплитуду и площадь рассчитывали в относительных единицах. В качестве переменной в расчетной формуле вместо амплитуды предложено использовать площадь ЭПР-спектра. Методика адаптирована к разным видам пищевой продукции, обработанной ионизирующим излучением: мясному сырью, охлажденной рыбе, пряностям молотым и плодам свежим после соответствующей пробоподготовки.

В результате математической обработки полученного массива экспериментальных данных получена трехмерная графическая интерпретация, дающая наглядное представление о влиянии совокупности факторов (дозы ионизирующего излучения X_1 и площади сигнала X_2) на поглощенную дозу по ОКТ говядины (рисунок 5). Аналогичная графическая обработка проведена по ОКТ и ОМТ мясного сырья, по ОКТ, ОМТ и ОКЧ рыбного сырья.

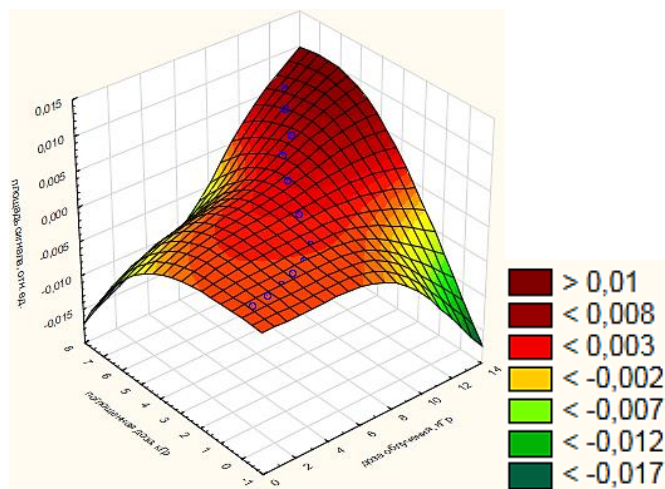


Рисунок 5 – Поверхность отклика $Y = f(X_1; X_2)$ для ОКТ говядины ($p \leq 0,05$)

Изменение поглощенной дозы (Y) от дозы излучения (X_1) и от площади сигнала (X_2) для ОКТ говядины описывается линейной зависимостью:

$$Y = -0,33131 + 0,152599X_1 + 847,1903X_2 (R^2 = 0,99). \quad (2)$$

Выявлена разная видовая восприимчивость к поглощению ионизирующего излучения. Расчетным путем по разработанной методике вычислили поглощенные дозы для разных составных частей мясного сырья. При увеличении дозы с 3 до 12 кГр поглощенная доза с высокой степенью достоверности увеличивается в ОКТ говядины и свинины – в 15,7 раза, мяса птицы – в 15,1 раза, мяса косули – в 14,7 раза (рисунок 6).

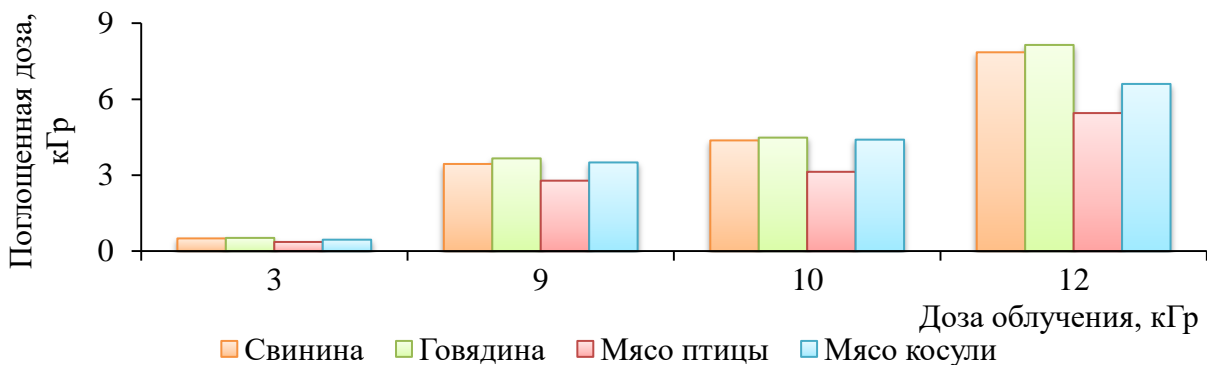


Рисунок 6 – Поглощенная доза в ОКТ свинины, говядины, мяса птицы и косули, обработанных разными дозами ионизирующего излучения

В отличие от костной ткани, мякотные части мясного сырья поглощают меньшую дозу, что можно объяснить неоднородностью структуры ткани и химическим составом. Аналогичная динамика выявлена по составным частям рыбного сырья, молотым пряностям и коже плодов.

После обработки исследуемых объектов дозой излучения 12 кГр выявлено, что поглощенная доза ниже 10 кГр: в ОКТ говядины – 7,6–8,6 кГр; ОКТ свинины и шейки свинной – 7,6–8,2 кГр; ОКТ птицы – 5,0–6,0 кГр; ОКТ косули – 6,4–6,8 кГр. Аналогичные данные получены при исследовании ОМТ мясного сырья, ОКТ, ОМТ и ОКЧ рыбного сырья, образцов пряностей и образцов кожицы яблок. Полученные результаты соответствуют требованиям безопасности по «Кодекс Алиментариус».

Интенсивность ЭПР-сигналов сохраняется через 12 мес. после обработки ионизирующим излучением мясного, рыбного сырья и плодов и через 18 мес. для пряностей, что позволяет обеспечить контроль за безопасностью ранее облученной пищевой продукции.

Глава 4. Исследование влияния ионизирующего излучения на сохраняемость пищевой продукции животного происхождения. Проведена комплексная оценка безопасности и качества пищевой продукции животного происхождения, обработанной разными дозами ионизирующего излучения. Выдвинута гипотеза о возможности продления сроков годности пищевой продукции животного происхождения, обработанной разными дозами, путем установления рациональных доз излучения.

Влияние ионизирующего излучения на сохраняемость охлажденного мяса и мясных полуфабрикатов в процессе хранения. Осуществлен анализ результатов исследования по влиянию ионизирующего излучения на сохраняемость охлажденного мяса и мясных полуфабрикатов. Органолептический профиль образцов охлажденной говядины (рисунок 7) показывает, что при увеличении дозы до 12 кГр более низкими баллами оцениваются внешний вид, мышцы на разрезе и состояние жира.

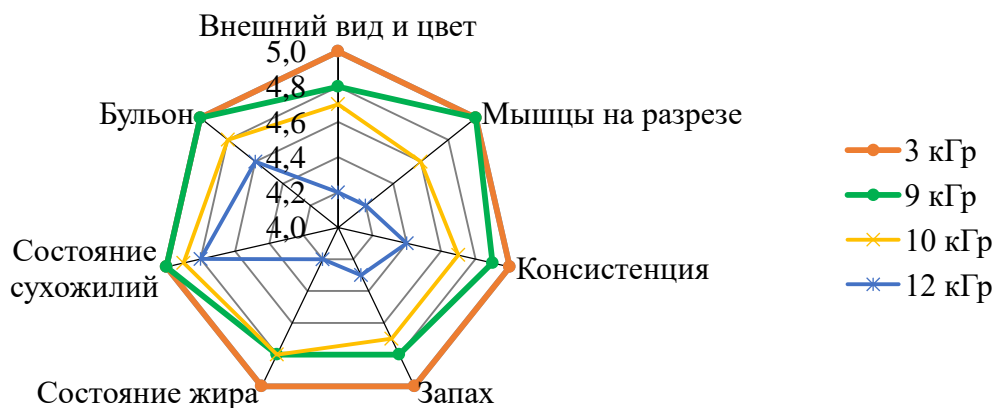


Рисунок 7 – Органолептические профили образцов охлажденной говядины, обработанных разными дозами ионизирующего излучения, балл

Проведена товароведная оценка мясного сырья через 10; 20; 30 и 39 сут хранения. Образцы говядины, обработанные дозой 3 кГр, через 20 и 30 сут хранения относятся к мясу отличного качества, через 39 сут и после обработки дозами 9 и 10 кГр – к мясу хорошего качества. Самую низкую оценку получили образцы, обработанные дозой 12 кГр: через 10 и 20 сут хранения – 4,4 балла; через 30 и 39 сут – 4,3 и 3,8 балла соответственно; через 39 сут образцы относятся к мясу удовлетворительного качества.

По результатам органолептической оценки обработанные дозой до 10 кГр образцы говядины, свинины и мяса косули; обработанные дозой до 9 кГр образцы мяса птицы и шейки свинной через 30 сут хранения соответствуют свежему мясу. Увеличение дозы до 12 кГр (для птицы – до 10 кГр) вызывает изменение внешнего вида и цвета мяса через 39 сут хранения.

Обработка излучением приводит к изменению химического состава пищевых продуктов: уменьшается содержание воды и жира при незначительном увеличении содержания белка, что может быть связано с увеличением сухого остатка в продукте (таблица 1).

Таблица 1 – Химический состав говядины, необработанной и обработанной дозой 10 кГр, на разных сроках хранения, % ($M \pm m, p \leq 0,05$)

Показатель	Необработанные образцы	Образцы, обработанные дозой 10 кГр				
		Продолжительность хранения, сут				
		0	10	20	30	39
Белок	21,04 ± 0,01	21,12 ± 0,01	21,01 ± 0,04	20,87 ± 0,04	20,82 ± 0,03	20,76 ± 0,06
Жир	12,91 ± 0,02	12,77 ± 0,01	12,75 ± 0,03	12,74 ± 0,01	12,71 ± 0,02	12,68 ± 0,01
Вода	65,08 ± 0,02	64,57 ± 0,09	63,66 ± 0,05	62,99 ± 0,06	62,45 ± 0,09	61,63 ± 0,11

При хранении до 30 сут в образцах установлено незначительное снижение содержания воды, белка и жира. Так, содержание воды в образцах говядины, обработанных дозами 3; 9; 10 и 12 кГр, снизилось на 3,04; 2,97; 2,94 и 2,79 % по сравнению с началом исследований (рисунок 8).

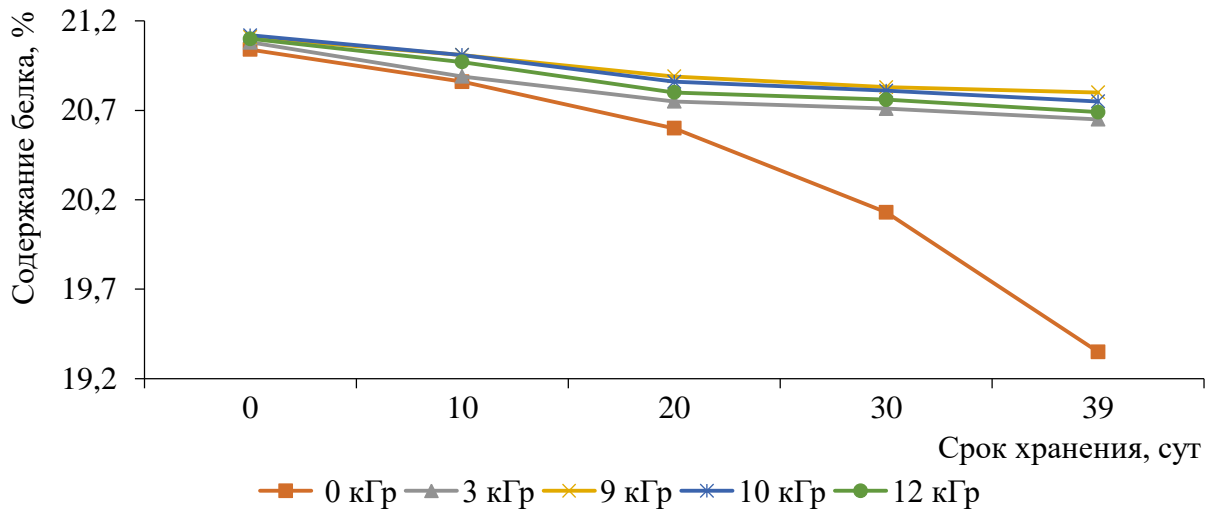


Рисунок 8 – Содержание белка в процессе хранения образцов говядины охлажденной, обработанных разными дозами ионизирующего излучения, %

Сопоставимые результаты получены при оценке содержания жира: через 39 сут хранения в образцах, обработанных дозами 3; 9; 10 и 12 кГр, снижается соответственно на 0,09; 0,09; 0,09 и 0,14 %.

После обработки дозами 3; 9; 10 и 12 кГр отмечено изменение белка: снижение общего количества аминокислот (АК) по сравнению с необработанными образцами. В говядине количество АК снижается на 0,56; 1,16; 1,47 и 1,92 % соответственно. При этом отмечаются высокие значения аминокислотного сора (АКС): в говядине – 115,11; 114,44; 114,03 и 113,63 % после обработки дозами 3; 9; 10 и 12 кГр соответственно. Аналогичные результаты получены для свинины, мяса птицы, мяса косули и шейки свиной.

Анализ полученных данных позволяет говорить о сохраняемости биологической ценности мясного сырья после обработки. Результаты сравнительной оценки сбалансированности аминокислотного состава говядины охлажденной до и после обработки разными дозами, а также в процессе хранения до 30 сут представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Качественная оценка сбалансированности аминокислотного состава белка образцов охлажденной говядины в процессе хранения ($p \leq 0,05$)

Показатель	Необработанные образцы		Образцы, обработанные дозой 10 кГр			
	Продолжительность хранения, сут					
	0	10	0	10	20	30
Белковый качественный показатель	5,78	5,77	5,81	5,91	5,91	5,91
Аминокислотный индекс	0,6600	0,6513	0,6634	0,6679	0,6684	0,6680
Аминокислотный скор, %	1153,94	114,46	114,03	113,69	113,70	113,50
Биологическая ценность белка, %	87,16	88,65	87,51	88,00	88,25	88,29

Аминокислотный индекс (АИ) в необработанных образцах уменьшается на 0,026 п. до 0,646, в обработанных образцах говядины – увеличивается на 0,006 п. до 0,680. БКП через 30 сут хранения в говядине и мясе козули (доза 10 кГр) составляет 5,91 и 5,81, в свинине и мясе птицы (доза 9 кГр) – 5,91 и 7,23 соответственно, в шейке свиной (доза 8 кГр) – 6,80, в то время как в необработанных образцах через 10 сут хранения – 5,77; 5,70; 5,78; 7,22 и 6,56 соответственно (через 30 сут хранения необработанные образцы относятся к несвежему мясу). АИ имеет более высокие значения в обработанных образцах. АКС белка во всех образцах мясного сырья, уменьшаясь в процессе хранения, превышает 100 %. Расчетный показатель биологической ценности (БЦ) белка обработанных излучением образцов при хранении до 30 сут увеличивается: для говядины – на 0,78 %, свинины – на 0,74 %, мяса козули – на 0,63 %, мяса птицы – на 1,43 %; в обработанной шейке свиной наблюдается несущественное снижение БЦ на 0,34 %.

Показатели свежести мяса, такие как кислотное (КЧ) и перекисное числа (ПЧ) и содержание аминокислотного азота (ААА) во всех обработанных образцах мяса при хранении до 30 сут соответствуют норме, в отличие от необработанной продукции. Так, белковый компонент сохраняется в говядине, обработанной дозой 10 кГр, при хранении до 30 сут, что согласуется с результатами товароведной оценки (рисунок 9).

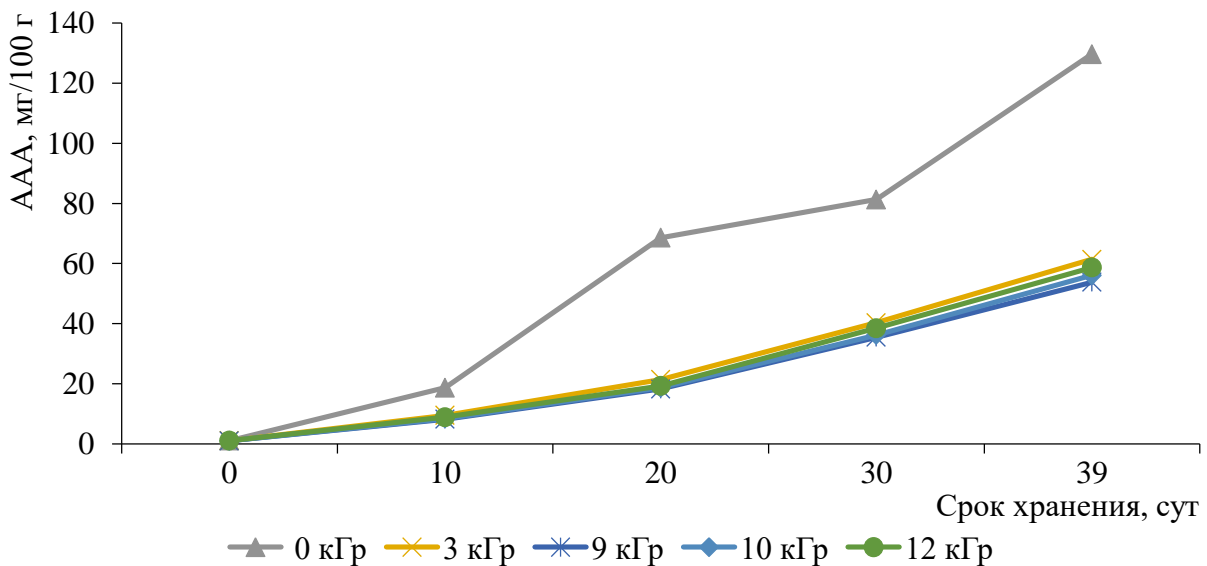


Рисунок 9 – Содержание ААА в необработанных и обработанных разными дозами образцах говядины в процессе хранения, мг/100 г

КЧ в обработанных образцах говядины через 39 сут хранения соответствует норме для свежей говядины и ниже значений КЧ необработанных образцов на 53,8; 48,1; 42,9 и 29,0 % соответственно с высокой степенью достоверности 0,98–0,99 ($p \leq 0,05$) (рисунок 10а).

ПЧ в обработанных образцах говядины после 39 сут хранения соответствует норме и ниже значения ПЧ необработанных образцов ($p \leq 0,05$) (рисунок 10б).

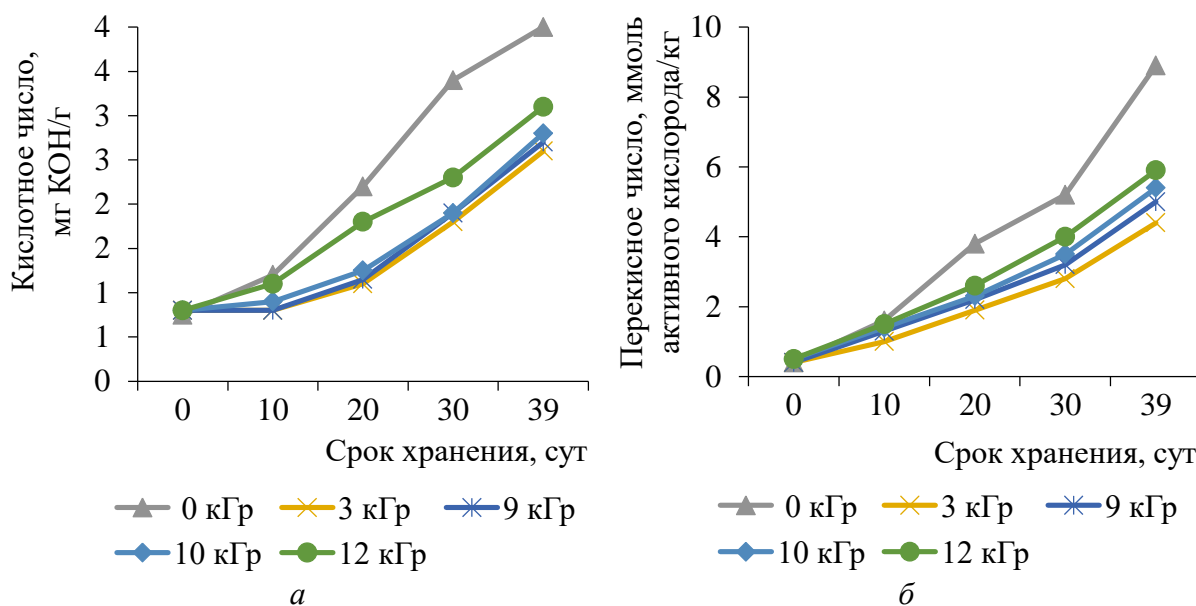


Рисунок 10 – Динамика КЧ (а) и ПЧ (б) в процессе хранения необработанных и обработанных разными дозами образцов говядины

Установлено, что охлажденную говядину целесообразно обрабатывать дозами до 10 кГр, что позволяет обеспечить высокое качество мяса при хранении до 30 сут. Сопоставимые результаты получены по свинине (рекомендуемая доза – 9 кГр), мясу косули (10 кГр), мясу птицы (9 кГр) и шейке свиной, упакованной в МГС (8 кГр).

Результаты микробиологических исследований обработанного мясного сырья свидетельствуют о бактерицидном действии ионизирующего излучения. Во всех образцах отсутствуют БГКП; патогенные микроорганизмы, в том числе *Salmonella* и *Listeria monocytogenes*; бактерии рода *Proteus*. После обработки говядины дозой 10 кГр через 30 сут КМАФАнМ составляет $1,9 \cdot 10^1$ КОЕ/г, что соответствует требованиям ТР ТС 021/2011 и ТР ТС 034/2013. Аналогичные результаты получены при обработке других видов мяса.

По результатам гистологических исследований установлено, что в образцах шейки свиной через 30 сут хранения наблюдается почти полное исчезновение ядер и исчерченности мышечных волокон; ослизненные участки поверхности принимают темную красно-коричневую окраску; мышечные волокна набухшие, деформированные, неплотно прилегают друг к другу; наблюдаются разрывы мышечных волокон с образованием мелкозернистой белковой массы; присутствуют множественные очажки микрофлоры (рисунок 11а).

Обработанные дозами 8 и 12 кГр образцы шейки свиной после 30 сут хранения относятся к свежим: структура ядер мышечных волокон и исчерченность мышечных волокон достаточно четко выражена, окраска равномерная (рисунок 11б).

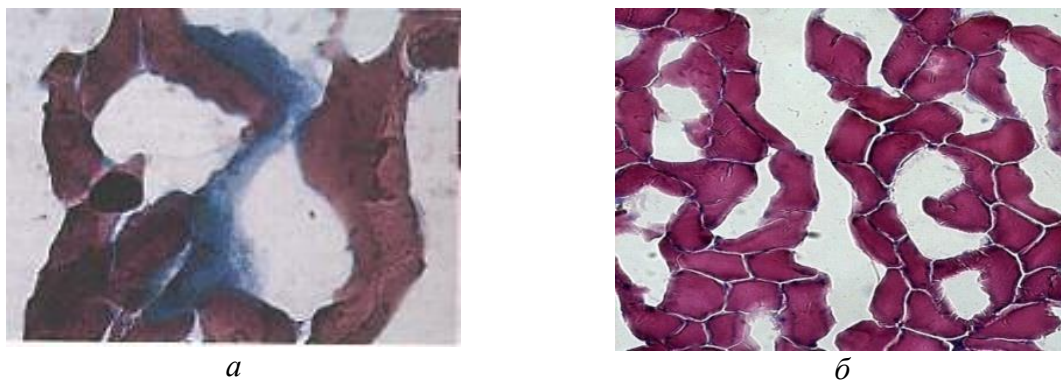


Рисунок 11 – Поперечнополосатая мышечная ткань необработанных (а) и обработанных дозой 12 кГр (б) образцов охлажденной шейки свиной, упакованных в МГС, через 30 сут хранения

Полученные результаты доказывают высокую эффективность обработки ионизирующим излучением охлажденного мясного сырья при применении более высоких доз (до 12 кГр) – до 99,8–100,0 %, что согласуется с органолептической оценкой. Все исследуемые образцы мясного сырья по содержанию токсических элементов соответствовали ТР ТС 021/2011.

Излучение вызывает образование свободных радикалов, которые связываются антиоксидантными комплексами, следовательно, можно предположить, что в обработанных пищевых продуктах АОА будет существенно ниже, чем в необработанных. Установлено, что в говядине после обработки дозой 12 кГр АОА уменьшилась в 2 раза до $(0,100 \pm 0,010)$ мМ-экв, в свинине – в 2,2 раза, в шейке свиной – в 1,2 раза, в мясе птицы – в 4,5 раза, в мясе косули – в 1,6 раза по сравнению с необработанными образцами ($p \leq 0,05$) (рисунок 12). Для сохранения АОА мясного сырья предложены в качестве рациональных следующие дозы излучения: для говядины и мяса косули – 10 кГр, свинины и мяса птицы – 9 кГр, шейки свиной – 8 кГр.

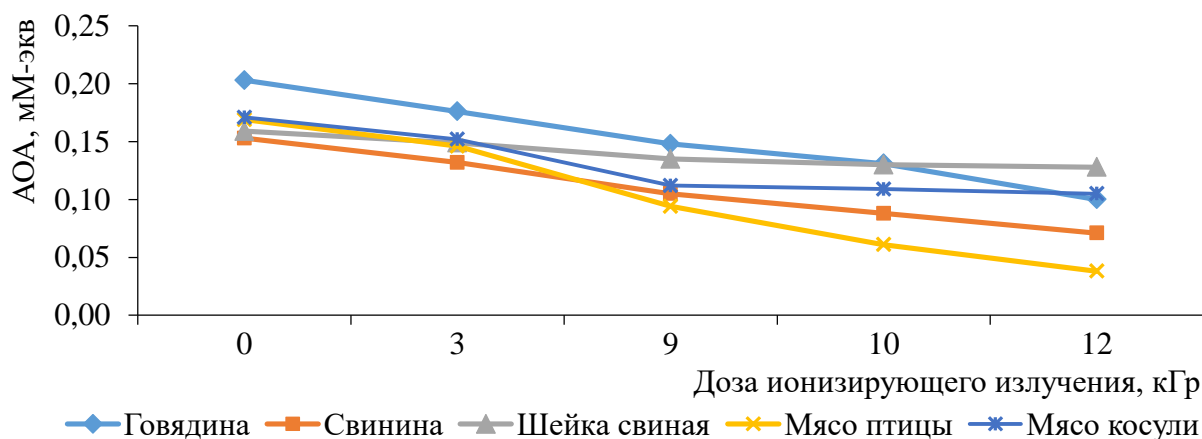


Рисунок 12 – АОА в необработанных и обработанных излучением образцах мясного сырья, мМ-экв

Исследовано влияние ионизирующего излучения на теплофизические свойства мяса. Установлено, что обработанные образцы мясного сырья ин-

тенсивно аккумулируют энергию ионизирующего излучения. Коэффициент удельной теплоемкости с увеличением дозы уменьшается: в говядине на 11,6 % до 3097 Дж/(кг·К), в свинине на 4,2 % до 2540 Дж/(кг·К), в мясе птицы на 7,6 % до 4317 Дж/(кг·К), что позволяет интенсифицировать тепловые процессы, протекающие на различных технологических стадиях производства мясных изделий. Полученные результаты следует учитывать в технологических процессах, при автоматизации процессов охлаждения и термической обработке.

Таким образом, на основании комплексной оценки установлена незначительная вариативность исследованных показателей для разных видов обработанного ионизирующим излучением мясного сырья в процессе хранения. Полученные результаты доказывают, что обработка мяса ионизирующим излучением позволяет сохранять пищевую ценность и увеличивать срок годности мясного сырья и мясных полуфабрикатов до 30 сут при соответствии требованиям ТР ТС 021/2011 и ТР ТС 034/2013.

Влияние ионизирующего излучения на сохраняемость охлажденной рыбы. Через 30 сут хранения охлажденный карп, обработанный дозами ионизирующего излучения от 1 до 3 кГр, по органолептическим показателям соответствует свежей рыбе.

По профилограмме (рисунок 13) видно, что необработанные и обработанные дозами 1; 2 и 3 кГр образцы охлажденной рыбы полностью соответствуют характерным признакам свежести мяса и оценены на 5 баллов, соответственно, их органолептические профили совпадают. Образцы, обработанные дозами 4 и 9 кГр, оценены в 3,8 и 3,3 балла соответственно и отнесены к категории условно-годного сырья. Образцы, обработанные дозами 10 и 12 кГр, получили 2,3 и 1,9 балла и не соответствуют требованиям нормативной и технической документации.

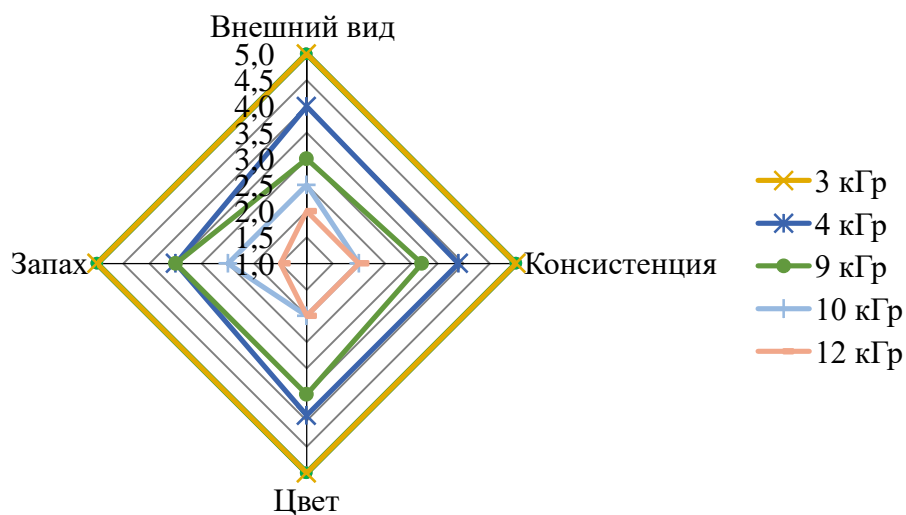


Рисунок 13 – Органолептический профиль образцов охлажденной рыбы, обработанных разными дозами, балл

В соответствии с результатами органолептической оценки химический состав исследован для рыбы, необработанной и обработанной дозой 3 кГр. После 30 сут хранения содержание воды уменьшается на 0,29 %, белка – на 0,10 %, жира – на 0,29 %. БКП после обработки образцов карпа дозой ионизирующего излучения 3 кГр через 30 сут хранения имеет более высокие значения по сравнению с необработанными образцами через 10 сут хранения – 4,454 и 4,451 соответственно. Аминокислотный индекс имеет более высокие значения в обработанных ионизирующим излучением образцах (таблица 3).

Аминокислотный скор белка, несмотря на снижение в процессе хранения, во всех образцах охлажденной рыбы имеет значение более 100 %. Лимитирующая аминокислота не установлена, наименьший аминокислотный скор – по валину.

Таблица 3 – Качественная оценка сбалансированности аминокислотного состава белков карпа в процессе хранения ($p \leq 0,05$)

Показатель	Необработанные образцы		Образцы, обработанные дозой 3 кГр			
	Продолжительность хранения, сут					
	0	10	0	10	20	30
Белковый качественный показатель	4,452	4,451	4,452	4,452	4,453	4,454
Аминокислотный индекс	0,9358	0,9394	0,9390	0,9404	0,9416	0,9425
Аминокислотный скор, %	143,502	143,755	143,096	143,096	141,645	141,114
Биологическая ценность белка, %	69,11	68,79	70,98	69,11	69,17	68,50

Количество ААА в образцах обработанного ионизирующим излучением карпа (дозы 1–3 кГр) через 10; 20 и 30 сут хранения соответствует норме для свежей рыбы и ниже по сравнению с необработанной рыбой (рисунок 14).

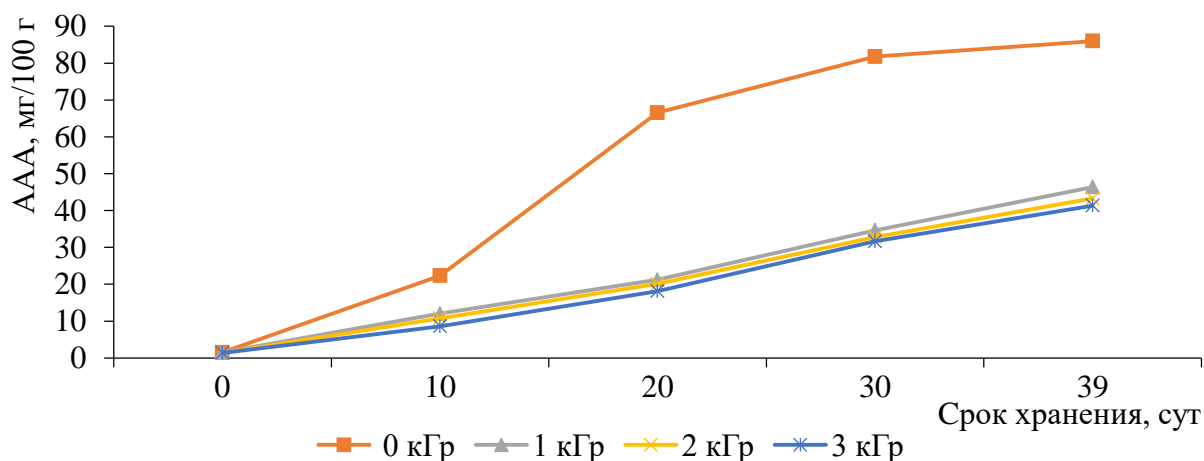


Рисунок 14 – Содержание ААА в мышечной ткани карпа охлажденного в процессе хранения, мг/100 г

ПЧ и КЧ в процессе хранения обработанной рыбы соответствуют показателям свежести (рисунок 15).

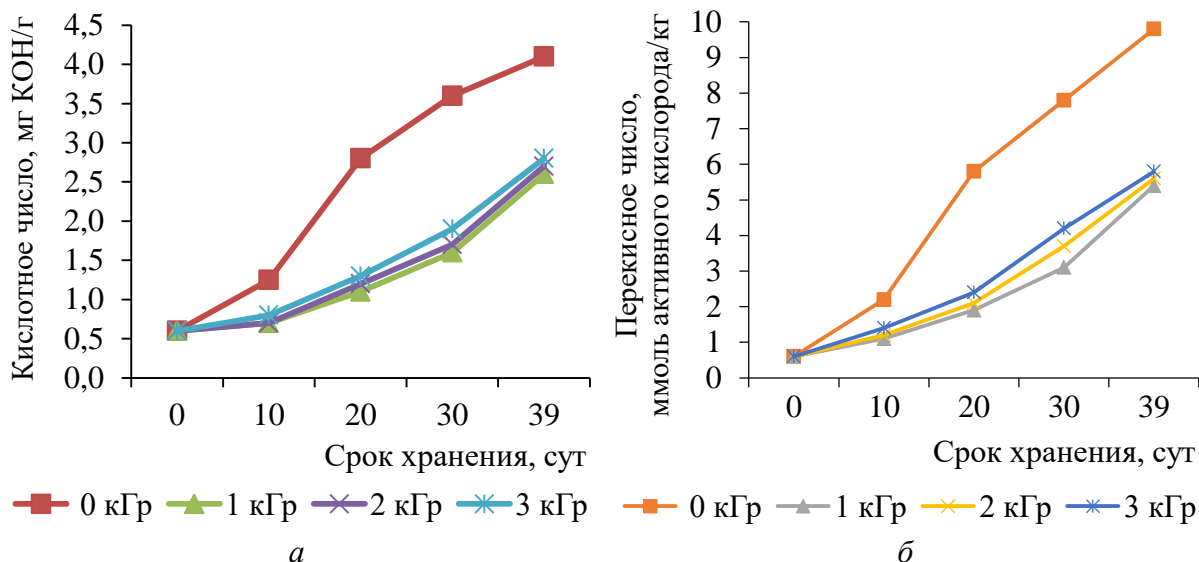


Рисунок 15 – Динамика КЧ (а) и ПЧ (б) в процессе хранения карпа охлажденного

Установлено, что в обработанной рыбе АОА снижается при дозе 1 кГр на 8,6 %, при 2 кГр – на 16,2 %, при 3 кГр – на 18,9 % по сравнению с необработанными образцами ($p \leq 0,05$).

При исследовании теплофизических свойств установлено, что коэффициент удельной теплоемкости при увеличении дозы ионизирующего излучения с 1 до 3 кГр уменьшается на 18,9 % до (3750 ± 9) Дж/(кг·К) при (4487 ± 9) Дж/(кг·К) в необработанных образцах. Полученные данные следует учитывать при кулинарной обработке рыбы из обработанного ионизирующим излучением пищевого рыбного сырья.

Микробиологические показатели обработанной рыбы после 30 сут хранения соответствуют требованиям ТР ТС 021/2011 и ТР ЕАЭС 040/2016. Установлена высокая эффективность обработки ионизирующим излучением через 30 сут: 95,3 % при дозе 1 кГр и 99,9 % при дозах 2 и 3 кГр.

В результате комплексного исследования установлено, что обработка рыбы дозами от 1 до 3 кГр наряду с сохранением пищевой ценности обеспечивает увеличение срока годности в 2,5 раза до 30 сут при соответствии требованиям ТР ТС 021/2011, ТР ЕАЭС 040/2016.

Глава 5. Исследование влияния ионизирующего излучения на сохраняемость пищевой продукции растительного происхождения. Проведена оценка безопасности и качества пищевой продукции растительного происхождения, обработанной ионизирующим излучением. Выдвинута гипотеза о возможности продления сроков годности пищевой продукции растительного происхождения, обработанной разными дозами, путем установления рациональных доз излучения.

Влияние ионизирующего излучения на сохраняемость пряностей. Все исследуемые образцы пряностей, обработанные дозой 12 кГр, по органолептическим и микробиологическим показателям после 18 мес. хранения соответствуют требованиям ТР ТС 021/2011 ($p \leq 0,05$).

АОА в перце черном после обработки дозой 12 кГр уменьшилась в 1,7 раза до $(0,270 \pm 0,009)$ мМ-экв по сравнению с необработанными образцами, в перце белом – в 2,3 раза, в куркуме – в 1,9 раза, в чили остром – в 2,1 раза, в чили жгучем – в 1,9 раза ($p \leq 0,05$) (рисунок 16).

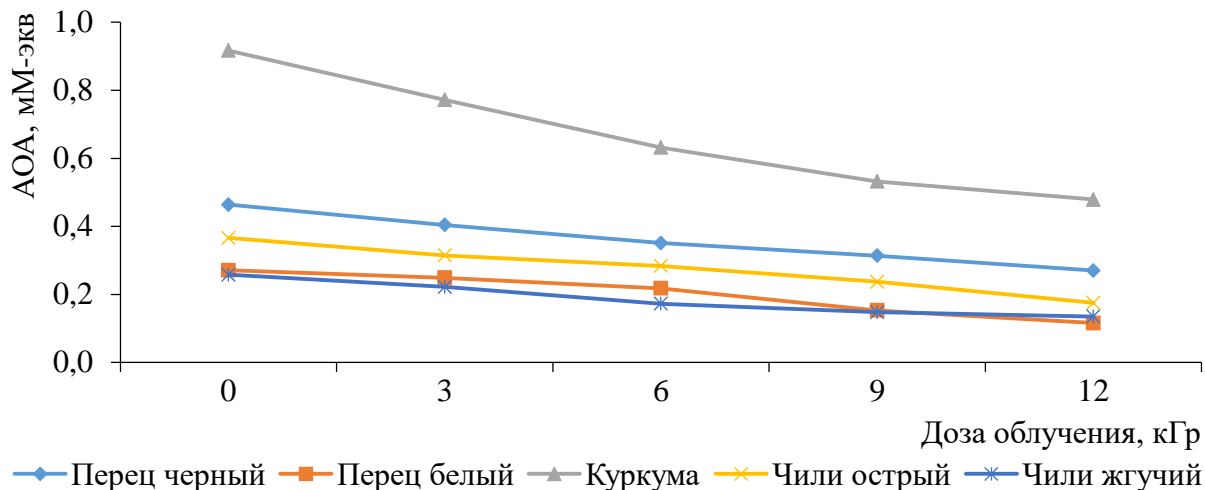


Рисунок 16 – АОА в необработанных пряностях и пряностях, обработанных разными дозами ионизирующего излучения

Таким образом, обработка молотых пряностей дозой 12 кГр препятствует микробиологической порче и способствует увеличению срока годности в 1,5 раза до 18 мес. при соответствии требованиям ТР ТС 021/2011.

Влияние ионизирующего излучения на сохраняемость плодов свежих в процессе хранения. По органолептическим показателям яблоки, обработанные дозами 1; 2 и 3 кГр, соответствуют требованиям ГОСТ 34314-2017.

В процессе хранения обработанных яблок отмечаются более низкие потери воды по сравнению с необработанными. Структурный состав углеводов изменяется как в процессе хранения, так и с увеличением дозы излучения: снижается содержание крахмала, увеличивается содержание моно- и дисахаридов при сохранении доли пищевых волокон.

Содержания витамина С после 6 мес. хранения в яблоках, обработанных дозой ионизирующего излучения 1 кГр уменьшилось на 27,1 %, дозой 2 кГр – на 28,0 %, дозой 3 кГр – на 29,0 %, что сопоставимо с потерями в яблоках, не подвергавшихся обработке излучением (таблица 4).

Таблица 4 – Остаточное содержание витамина С при хранении яблок свежих, обработанных разными дозами, % от первоначального содержания

Доза излучения, кГр	Продолжительность хранения, мес.						
	0	1	2	3	4	5	6
0	100,0	98,3	91,6	87,5	83,1	79,5	73,1
1	99,3	97,9	91,3	87,1	82,9	79,1	72,9
2	97,6	96,4	91,0	86,8	81,9	78,6	72,0
3	95,4	94,3	89,6	86,4	81,3	77,9	71,0

После 6 мес. хранения все исследуемые микробиологические показатели обработанных яблок не превышали предельно допустимого уровня по ТР ТС 021/2011, в отличие от необработанных образцов, где обнаружены КМАФАнМ, дрожжи и плесени в количестве, превышающем допустимые уровни. При этом чем выше доза излучения, тем ниже значения микробиологических показателей за счет высокой эффективности обработки. Во всех исследуемых образцах яблок не обнаружены токсические элементы.

Исследование антиоксидантной активности показало, что с увеличением дозы ионизирующего излучения до 3 кГр АОА в яблоках свежих снижается в 1,6 раза до $(2,916 \pm 0,027)$ мМ-экв по сравнению с необработанными образцами ($p \leq 0,05$) (рисунок 17).

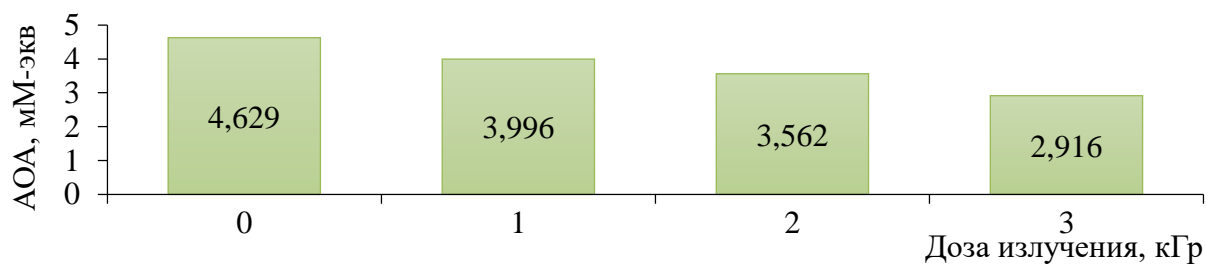


Рисунок 17 – АОА образцов яблок свежих до и после обработки излучением

Рациональной можно считать дозу излучения до 2 кГр, при которой уменьшение АОА происходит менее интенсивно – в 1,3 раза.

Таким образом, обработка ионизирующим излучением яблок свежих дозами 1–3 кГр положительно влияет на сохраняемость плодов.

Глава 6. Исследование острой токсичности и безопасности пищевой продукции, обработанной ионизирующим излучением, на примере мясного сырья. Проведены экспериментальные исследования для подтверждения безопасности обработанного мясного сырья путем наблюдения за поведением и контроля гематологических и биохимических показателей крови лабораторных животных, получавших суточный рацион, 25 % которого составляла мышечная часть шейки свиной, обработанная разными дозами ионизирующего излучения. При визуальном наблюдении за подопытными животными не установлены отклонения в клиническом состоянии, поведении, сохранности животных и поедании корма. На протяжении опыта лабораторные животные были активными и подвижными, отсутствовали повреждения кожных покровов. Не установлено достоверной разницы по массе животных. Гематологические показатели крови находились в пределах физиологической нормы. При исследовании биохимических показателей крови (белка и белковых фракций, аминотрансфераз) подопытных животных достоверных различий по группам не установлено. Снижение активности ферментов АЛАТ и АсАТ в плазме (сыворотке) крови указывает на хорошее состояние животных в процессе их роста. По реакции перекисного окисления липидов (ПОЛ) в плазме крови установлено отсутствие развития патологических процессов в организме животных.

Таким образом, шейка свиная, обработанная разными дозами ионизирующего излучения, является безопасной и не оказывает острого токсического действия на организм белых беспородных мышей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам экспериментальных исследований разработана адаптированная методика пробоподготовки пищевой продукции, обработанной ионизирующим излучением, для ее дальнейшей идентификации с использованием ЭПР-спектроскопии, разработана методика количественного определения поглощенных доз, доказана целесообразность и применения ионизирующего излучения для продления срока годности пищевой продукции.

Итоги исследований представлены в следующих выводах.

1. Проведен анализ зарубежных и отечественных нормативных документов и научных публикаций в области использования радиационных технологий в пищевой промышленности. Установлено, что национальные стандарты не позволяют определить поглощенную дозу ионизирующего излучения, имеются неточности в терминологии (доза/поглощенная доза), отсутствуют регламентирующие показатели по выбору рациональных доз (кроме некоторых видов пряностей).

2. Разработана адаптированная для разных видов мяса сельскохозяйственных животных и птицы методика пробоподготовки для дальнейшей ЭПР-спектроскопии ОКТ мясного сырья и предложена методика пробоподготовки для рыбного сырья по определенным параметрам (продолжительность сушки (27 ± 3) ч, температура (40 ± 1) °С, содержание остаточной влаги 3,0–4,5 %); для ОКЧ рыбного сырья рекомендованы аналогичные параметры, как и для ОКТ; разработана методика пробоподготовки для ОМТ, отличающаяся от методики пробоподготовки для костной ткани, по содержанию остаточной влаги до 16–20 %, образцы измельчаются до размера частиц на $0,5 \times 0,5 \times 0,5$ мм общей массой не менее 0,05 г. Образцы пряностей молотых для ЭПР-спектроскопии не подвергаются дополнительному помолу и высушиванию. Кожица плодов очищается от мякоти и высушивается при температуре (40 ± 5) °С в течение 2–3 ч. Соблюдение предложенных параметров позволяет получить устойчивые ЭПР-спектры в многократной повторности.

3. Разработана методика количественного определения поглощенных доз ионизирующего излучения по разным составным частям разных видов пищевой продукции, обработанной ионизирующим излучением (мясное и рыбное сырье, пряности молотые, плоды свежие): костная ткань, мышечная ткань, кожа с чешуей, кожица плодов, измельченные плоды пряностей согласно расчетной унифицированной формуле. Выполнено математическое моделирование расчетной поверхностной поглощенной дозы в зависимости технологических параметров и видов пищевой продукции. Построены математические модели нелинейной функции (\arccos) расчет-

ной поверхностной поглощенной дозы ионизирующего излучения в зависимости от технологических параметров и вида пищевой продукции.

4. Выполнена качественная и количественная идентификация необработанной и обработанной разными дозами ионизирующего излучения пищевой продукции животного и растительного происхождения путем фиксации параметров ЭПР-спектра (амплитуда, ширина, площадь). Впервые обоснована возможность идентификации пищевой продукции, обработанной ионизирующим излучением, по разным составным частям: костная и мышечная ткань мясного и рыбного сырья, чешуя рыбного сырья, кожица свежих плодов, измельченные плоды пряностей. В качестве комплексного параметра для количественной идентификации пищевой продукции, обработанной ионизирующим излучением, предложено использовать площадь ЭПР-сигнала. Для проведения количественной идентификации апробирована разработанная методика количественного определения поглощенных доз ионизирующего излучения.

4.1. Продукция животного происхождения.

Для говядины, содержащей костную ткань, при дозе ионизирующего излучения до 3 кГр поглощенная доза составляет 0,2–0,6 кГр; при 3–6 кГр – 0,6–2,5 кГр; при 6–9 кГр – 2,5–3,9 кГр; при 9–12 кГр – 3,9–8,6 кГр ($p \leq 0,05$). Для свинины, содержащей костную ткань, при дозе ионизирующего излучения до 3 кГр поглощенная доза составляет 0,2–0,6 кГр; при 3–6 кГр – 0,6–2,2 кГр; при 6–9 кГр – 2,2–3,6 кГр; при 9–12 кГр – 3,6–8,2 кГр ($p \leq 0,05$). Количественные характеристики поглощенной дозы для мясокостных полуфабрикатов аналогичны исходному сырью – свинине. Для мяса птицы, содержащего костную ткань, при дозе ионизирующего излучения до 3 кГр поглощенная доза составляет 0,1–0,4 кГр; при 3–6 кГр – 0,4–1,8 кГр; при 6–9 кГр – 1,8–3,0 кГр; при 9–12 кГр – 3,0–6,0 кГр ($p \leq 0,05$). Для мяса косули, содержащего костную ткань, при дозе ионизирующего излучения до 3 кГр поглощенная доза составляет 0,2–0,5 кГр; при 3–6 кГр – 0,5–1,5 кГр; при 6–9 кГр – 1,5–3,5 кГр; при 9–12 кГр – 3,5–6,8 кГр ($p \leq 0,05$). Аналогичные результаты получены при исследовании образцов мышечной ткани обработанного мясного сырья. Для карпа, содержащего костную ткань, при дозе ионизирующего излучения до 3 кГр поглощенная доза составляет 0,1–0,4 кГр; при 3–6 кГр – 0,4–1,1 кГр; при 6–9 кГр – 1,1–2,4 кГр; при 9–12 кГр – 2,4–5,2 кГр ($p \leq 0,05$). Аналогичные результаты получены при исследовании мышечной ткани и образцов кожи с чешуей обработанного карпа.

4.2. Продукция растительного происхождения.

Для пряностей молотых при дозе ионизирующего излучения 12 кГр поглощенная доза составляет: для перца черного – 9,4–9,8 кГр; перца белого – 8,0–9,0 кГр; куркумы – 9,2–9,4 кГр; чили острого – 4,0–4,4 кГр; чили жгучего – 4,1–4,3 кГр ($p \leq 0,05$). Для яблок свежих при дозе ионизирующего излучения до 3 кГр поглощенная доза составляет 0,1–1,5 кГр; при

3–6 кГр – 1,5–2,7 кГр; при 6–9 кГр – 2,7–4,3 кГр; при 9–12 кГр – 4,3–7,0 кГр ($p \leq 0,05$).

5. На основании органолептической оценки, исследования пищевой ценности, биологической ценности белка, физико-химических и микробиологических показателей, гистологических исследований установлено положительное влияние ионизирующего излучения на сохраняемость и увеличение срока годности пищевой продукции животного происхождения.

5.1. Установлено, что образцы говядины и мяса косули, обработанные дозой до 10 кГр; образцы свинины и мяса птицы при дозе до 9 кГр; образцы шейки свиной при дозе до 8 кГр через 30 сут хранения соответствуют требованиям технических регламентов. Незначительные изменения химического состава сопоставимы с изменениями при других способах хранения. Обработка мясного сырья ионизирующим излучением позволяет обеспечить высокие показатели сбалансированности аминокислотного состава и биологической ценности белка на протяжении всего периода хранения до 30 сут, белки являются полноценными. В мясе птицы к лимитирующей аминокислоте относится валин как для обработанных, так и необработанных образцов; после обработки дозой 12 кГр – треонин. Наименьший скор белков говядины, свинины и шейки свиной установлен по группе серосодержащих аминокислот (метионин+цистин), в мясе косули – по треонину, в мясе птицы (кроме лимитирующей аминокислоты) – по треонину.

После обработки дозой 10 кГр в процессе хранения до 30 сут выявлено, что качественные показатели белков говядины выше, чем в необработанных образцах: БКП – 5,91 п., аминокислотный индекс (НАК/ЗАК и НАК/ΣАК) – 0,6680 и 0,4005 соответственно, биологическая ценность – 88,29 %; в свинине при дозе ионизирующего излучения 9 кГр БКП – 5,909 п., аминокислотный индекс (НАК/ЗАК и НАК/ΣАК) – 0,7179 и 0,4179 соответственно, биологическая ценность – 81,73 %; в шейке свиной при дозе ионизирующего излучения 8 кГр БКП – 6,796 п., аминокислотный индекс (НАК/ЗАК и НАК/ΣАК) – 0,7318 и 0,4226, биологическая ценность – 78,03 %; в мясе косули при дозе ионизирующего излучения 10 кГр БКП – 5,81 п., аминокислотный индекс (НАК/ЗАК и НАК/ΣАК) – 0,8087 и 0,4471 соответственно, биологическая ценность – 75,33 %; в мясе птицы при дозе ионизирующего излучения 9 кГр БКП – 7,23 п., аминокислотный индекс (НАК/ЗАК и НАК/ΣАК) – 0,7038 и 0,4131, биологическая ценность – 75,82 %. Показатели свежести всех видов охлажденного мяса, обработанных дозами 3–12 кГр, при хранении до 30 сут соответствовали норме (рН 5,7–6,1; ААА 35,1–48,9 мг щелочи/100 г; кислотное число 1,6–2,8 мг КОН/г; перекисное число 2,3–4,5 ммоль активного кислорода/кг жира; КМАФАнМ от $1,9 \cdot 10^1$ до $6,9 \cdot 10^2$ КОЕ/г), структура ядер мышечных волокон четко выражена, окраска равномерная; ясно и четко выражена исчерченность мышечных волокон.

Увеличение дозы ионизирующего излучения приводит к снижению АОА в мясном сырье. АОА в говядине при обработке дозой до 3 кГр со-

ставляет 0,18–0,20 мМ-экв, при 3–6 кГр – 0,17–0,15 мМ-экв, при 6–9 кГр – 0,15–0,14 мМ-экв, при 9–12 кГр – 0,14–0,10 мМ-экв; в свинине при дозе до 3 кГр – 0,12–0,16 мМ-экв, при 3–6 кГр – 0,13–0,12 мМ-экв, при 6–9 кГр – 0,13–0,11 мМ-экв, при 9–12 кГр – 0,11–0,07 мМ-экв; в мясе птицы при дозе до 3 кГр – 0,17–0,15 мМ-экв, при 3–6 кГр – 0,15–0,12 мМ-экв, при 6–9 кГр – 0,12–0,10 мМ-экв, при 9–12 кГр – 0,10–0,05) мМ-экв; в мясе косули при дозе до 3 кГр – 0,15–0,17 мМ-экв, при 3–6 кГр – 0,15–0,12 мМ-экв, при 6–9 кГр – 0,12–0,11 мМ-экв, при 9–12 кГр – 0,11–0,10 мМ-экв. Установлено, что подвергнутые обработке образцы мясного сырья интенсивно аккумулируют энергию ионизирующего излучения. Коэффициент удельной теплоемкости с увеличением дозы до 12 кГр уменьшается: в обработанных образцах говядины – на 11,6 %, свинины – на 4,2 % и мяса птицы – на 7,6 %, что позволяет интенсифицировать тепловые процессы, протекающие на различных технологических стадиях производства мясных изделий.

5.2. Установлено, что образцы карпа охлажденного, обработанного дозой до 3 кГр, через 30 сут хранения соответствуют свежему пищевому продукту и требованиям технических регламентов. Необработанное рыбное сырье после 30 сут хранения не соответствует требованиям технических регламентов. Обработка ионизирующим излучением охлажденной рыбы позволяет обеспечить высокие показатели сбалансированности аминокислотного состава и биологической ценности белка на всем периоде хранения до 30 сут, белки являются полноценными на всем периоде хранения. Лимитирующая аминокислота не установлена. Наименьший аминокислотный скор белков выявлен по валину. После обработки карпа охлажденного дозами до 3 кГр в процессе хранения до 30 сут отмечается улучшение качественных показателей: увеличение аминокислотного индекса (НАК/ЗАК) до 0,9425 и (НАК/ΣАК) до 0,4852, белкового качественного показателя до 4,454 п. и биологической ценности белка до 68,50 %. Показатели свежести карпа охлажденного, обработанного дозами 1–3 кГр, в процессе хранения до 30 сут соответствовали норме (ААА 31,7–34,7 мг щелочи/100 г; кислотное число 1,6–1,9 мг КОН/г; перекисное число 3,1–4,2 ммоль активного кислорода/кг жира, КМАФАНМ от $6,1 \cdot 10^1$ до $3,6 \cdot 10^3$ КОЕ/г).

В карпе охлажденном установлено снижение АОА при увеличении дозы ионизирующего излучения: до 1 кГр – 0,190–0,180 мМ-экв, при 1–2 кГр – 0,179–0,171 мМ-экв, до 3 кГр – 0,170–0,168 мМ-экв. Подвергнутая обработке охлажденная рыба аккумулирует энергию ионизирующего излучения. Коэффициент удельной теплоемкости охлажденного карпа при увеличении дозы ионизирующего излучения с 1 до 3 кГр уменьшается на 18,9 % до 3 750 Дж/(кг·К). Полученные результаты следует учитывать при производстве рыбной продукции из пищевого рыбного сырья, обработанного ионизирующим излучением.

6. На основании органолептической оценки, исследования пищевой ценности и микробиологических показателей установлено положительное

влияние ионизирующего излучения на сохраняемость и увеличение срока годности пищевой продукции растительного происхождения.

6.1. Доказано, что обработка молотых пряностей дозой ионизирующего излучения 12 кГр препятствует развитию микробиологической порчи и способствует увеличению срока годности до 18 мес. Все обработанные образцы пряностей (перец черный, перец белый, куркума, чили жгучий, чили острый) по органолептическим и микробиологическим показателям через 18 мес. хранения соответствуют требованиям нормативной документации. КМАФАнМ в обработанных пряностях составляет $(3,6...4,3) \cdot 10^4$ КОЕ/г, плесень – $(1,3...2,5) \cdot 10^1$ КОЕ/г; в необработанных пряностях КМАФАнМ составляет $(7,6...9,8) \cdot 10^5$ КОЕ/г, плесень – $(1,8...2,4) \cdot 10^3$ КОЕ/г. АОА в перце черном при дозе облучения 12 кГр составляет 0,26–0,28 мМ-экв, перце белом – 0,10–0,13 мМ-экв, куркуме – 0,46–0,50 мМ-экв, чили острым – 0,17–0,18 мМ-экв, чили жгучем – 0,12–0,14 мМ-экв.

6.2. Яблоки свежие, обработанные дозами ионизирующего излучения до 3 кГр, через 6 мес. хранения соответствуют свежей плодовой продукции. Экспериментально доказано, что обработка яблок дозами от 4 кГр и выше делает их непригодными к употреблению по органолептическим показателям: внешний вид (морщинистая поверхность, растрескивание кожицы), запах и вкус (ионизирующий запах, вкус вареного яблока), состояние мякоти (рыхлая, ватная) и цвет (светло-коричневый). В необработанных яблоках отмечаются более высокие потери воды после 6 мес. хранения – на 3,7 % до 86,20 % по сравнению с яблоками, обработанными дозами от 1 до 3 кГр, в которых потери составляли от 1,81–1,83 % до 87,86–87,92 %. Обработка ионизирующим излучением яблок свежих помологического сорта «Ренет Платона Симиренко» дозами от 1 до 3 кГр положительно влияет на их сохраняемость за счет обеспечения низкого уровня микробальной обсемененности. Все исследуемые микробиологические показатели не превышают предельно допустимого уровня по ТР ТС 021/2011 в отличие от необработанных образцов яблок, где обнаружены КМАФАнМ ($5,6 \cdot 10^4$ КОЕ/г), дрожжи ($2,2 \cdot 10^2$ КОЕ/г) и плесени ($1,0 \cdot 10^3$ КОЕ/г) в количестве, превышающем допустимые уровни. Через 6 мес. хранения яблок, обработанных дозой 3 кГр, КМАФАнМ составляет $0,4 \cdot 10^3$ КОЕ/г, БГКП и патогенные микроорганизмы не обнаружены, дрожжи и плесень – $0,4 \cdot 10^1$ и $0,1 \cdot 10^2$ КОЕ/г соответственно. Увеличение дозы ионизирующего излучения приводит к уменьшению АОА яблок свежих ($p \leq 0,05$).

7. По результатам гематологических и биохимических показателей крови белых беспородных мышей доказано отсутствие острого токсического действия на их организм при включении в рацион пищевой продукции, обработанной ионизирующим излучением (шейки свиной, обработанной дозами 8 и 12 кГр, в количестве 25 % от суточного рациона). Отклонения в клиническом состоянии, поведении, сохранности лабораторных животных, в поедании корма и достоверной разницы по живой массе на про-

тяжении эксперимента не отмечены, показатели крови мышей находились в пределах физиологической нормы (эритроциты $(9,0...9,5) \cdot 10^{12}$ г/л, лейкоциты $(7,5...7,7) \cdot 10^9$ г/л) активность ферментов АЛАТ и АсАТ в плазме крови указывает на хорошее состояние животных.

ПРАКТИЧЕСКИЕ ПРЕДЛОЖЕНИЯ

1. Идентификацию пищевой продукции, обработанной ионизирующим излучением, методом ЭПР проводить по составным частям: мясной продукции – по образцам костной и мышечной ткани, рыбы охлажденной – по образцам костной ткани и чешуе, плодов – по коже, пряностей молотых – по измельченным плодам.

2. Для определения поглощенной дозы использовать расчетный способ по предложенной адаптированной формуле.

3. Для увеличения срока годности целесообразно обрабатывать охлажденную говядину и охлажденное мясо косули дозой ионизирующего излучения до 10 кГр; охлажденную свинину и охлажденное мясо птицы – до 9 кГр; охлажденную шейку свиную – до 8 кГр; охлажденного карпа – до 3 кГр; яблоки свежие – до 3 кГр; пряности молотые – до 12 кГр.

4. Рекомендуются государственным надзорным органам в области обеспечения качества и безопасности пищевой продукции при контроле за процессом облучения и для проведения качественной и количественной идентификации пищевой продукции, обработанной ионизирующим излучением, и органам таможенного контроля РФ для осуществления контроля ввозимой на территорию РФ пищевой продукции, а также в радиационных центрах по обработке пищевой продукции учитывать результаты проведенных научных исследований.

ПУБЛИКАЦИИ АВТОРА ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в изданиях, входящих в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов ВАК

1. **Тимакова, Р. Т.** Оценка радиационной безопасности пищевых продуктов методом парамагнитного резонанса / Р. Т. Тимакова, А. С. Романова, А. В. Курдюмов, А. Н. Тарарков // Агропродовольственная политика России. – 2016. – № 9 (60). – С. 83–88.

2. **Тимакова, Р. Т.** ЭПР-спектроскопия пряностей / Р. Т. Тимакова, С. Л. Тихонов, А. Н. Тарарков, Д. О. Вахнин. – DOI: 10.20914/2310-1202-2016-4-187-193 // Вестник ВГУИТ. – 2016. – № 4. – С. 187–193.

3. Кудряшов, Л. С. Применение метода электронного парамагнитного резонанса для исследования рыбы / Л. С. Кудряшов, **Р. Т. Тимакова**, С. Л. Тихонов, А. С. Романова // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2017. – № 1. – С. 9–12.

4. **Тимакова, Р. Т.** Влияние различных доз ионизирующего облучения на органолептические показатели качества и спектр электропарамагнитного резонанса охлажденной рыбы / Р. Т. Тимакова, С. Л. Тихонов, Н. В. Тихонова, А. В. Курдюмов // Агропродовольственная политика России. – 2017. – № 5 (65). – С. 52–55.

5. **Тимакова, Р.Т.** Влияние обработки пряностей ионизирующим излучением на их антиоксидантную активность / Р. Т. Тимакова, С. Л. Тихонов, Н. Ю. Стожко [и др.] // Агропродовольственная политика России. – 2017. – № 8 (68). – С. 110–112.

6. **Тимакова, Р. Т.** Исследование антиоксидантной активности свежих яблок, обработанных разными дозами ионизирующего излучения / Р. Т. Тимакова, С. Л. Тихонов, Н. В. Тихонова // Известия вузов. Пищевая технология. – 2017. – № 5–6 (359–360). – С. 84–87.

7. **Тимакова, Р. Т.** Разработка методики определения поглощенных доз для разных видов радиационно-обработанного мяса / Р. Т. Тимакова, С. Л. Тихонов, Н. В. Тихонова // Ползуновский вестник. – 2017. – № 1. – С. 13–18.

8. **Тимакова, Р. Т.** Исследование охлажденной рыбы, обработанной ионизирующим излучением / Р. Т. Тимакова, С. Л. Тихонов, Н. В. Тихонова, А. С. Романова // АПК России. – 2017. – Т. 24, № 2. – С. 456–450.

9. **Тимакова, Р. Т.** Влияние ионизирующего излучения на антиоксидантную активность мяса косули / Р. Т. Тимакова, С. Л. Тихонов, Н. В. Тихонова [и др.]. – DOI: 10.14529/food170204 // Вестник ЮУрГУ. Серия: Пищевые и биотехнологии. – 2017. – Т. 5, № 2. – С. 25–30.

10. Горлов, И. Ф. Оценка теплофизических свойств мясного сырья, обработанного ионизирующим излучением / И. Ф. Горлов, **Р. Т. Тимакова**, С. В. Шихалев, С. Л. Тихонов // АПК России. – 2017. – Т. 24, № 4. – С. 824–829.

11. **Тимакова, Р. Т.** Влияние ионизирующего облучения шейки свиной на изменение липидов / Р. Т. Тимакова, С. Л. Тихонов, Н. В. Тихонова [и др.] // Мясная индустрия. – 2017. – № 12. – С. 20–23.

12. **Тимакова, Р. Т.** Влияние ионизирующего облучения сырья животного происхождения на его антиоксидантную активность / Р. Т. Тимакова // Пищевая промышленность. – 2018. – № 7. – С. 50–53.

13. **Тимакова, Р. Т.** Органолептическая оценка облученных мясных полуфабрикатов на разных сроках хранения / Р. Т. Тимакова // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. – 2018. – № 3 (50). – С. 51–57.

14. **Тимакова, Р. Т.** Сравнительная ЭПР-спектроскопия мясного и рыбного сырья / Р. Т. Тимакова. – DOI: 10.31677/2311-0651-2018-0-3-75-82 // Инновации и продовольственная безопасность. – 2018. – № 3 (21). – С. 75–82.

15. **Тимакова, Р. Т.** Исследование аминокислотного состава облученной охлажденной рыбы / Р. Т. Тимакова // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2018. – Т. 7, № 3 (43). – С. 99–104.

16. **Тимакова, Р. Т.** Биологическая ценность белков облученного мяса птицы / Р. Т. Тимакова. – DOI: 10.30975/2073-4999-2018-20-6-26-28 // Птица и птицепродукты. – 2018. – № 6. – С. 26–28.

17. **Тимакова, Р. Т.** Современные методы идентификации свинины, обработанной ионизирующим излучением / Р. Т. Тимакова, С. Л. Тихонов, Н. В. Тихонова. – DOI: 10.24411/0235-2451-2018-11021 // Достижение науки и техники АПК. – 2018. – Т. 32, № 10. – С. 90–92.

18. **Тимакова, Р. Т.** Оценка показателей свежести радиационно-обработанной свинины / Р. Т. Тимакова. – DOI: 10.17217/2079-0333-2019-47-62-67 // Вестник Камчатского государственного технического университета. – 2019. – № 47. – С. 62–69.

19. **Тимакова, Р. Т.** Сравнительная характеристика технологических свойств радиационно-обработанного мясного сырья / Р. Т. Тимакова. – DOI: 10.24411/0235-2486-2019-10136 // Пищевая промышленность. – 2019. – № 9. – С. 8–12.

20. **Тимакова, Р. Т.** Влияние ионизирующего излучения на изменение антиоксидантного потенциала свежих яблок / Р. Т. Тимакова // Проблемы развития АПК региона. – 2019. – № 3. – С. 250–257.

21. **Тимакова, Р. Т.** Комплексная оценка качества мяса косули, обработанного ионизирующим излучением / Р. Т. Тимакова, С. Л. Тихонов // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2019. – Т. 8, № 3 (47). – С. 128–133.

22. **Тимакова, Р. Т.** Радиационная обработка молока / Р. Т. Тимакова. – DOI: 10.31515/1019-8946-2020-05-30-31 // Молочная промышленность. – 2020. – № 5. – С. 30–31.

23. **Тимакова, Р. Т.** Влияние ионизирующего излучения на биологическую ценность белков говядины / Р. Т. Тимакова. – DOI: 10.24411/0235-2486-2020-10048 // Пищевая промышленность. – 2020. – № 5. – С. 13–18.

Статьи в изданиях, входящих в Scopus или Web of Science

24. **Timakova, R. T.** Use of the method of electron paramagnetic resonance for determination of absorbed doses of ionizing radiation of different types of meat and fish raw materials / R. T. Timakova, S. L. Tikhonov, N. V. Tikhonova, V. M. Poznyakovskiy. – DOI: 10.21603/2308-4057-2017-2-162-169 // Foods and raw materials. – 2017. – Vol. 5, № 2. – P. 162–169.

25. **Тимакова, Р. Т.** Зависимость параметров ЭПР-спектра от вида мяса и рыбы, обработанных ионизирующим излучением / Р. Т. Тимакова, С. Л. Тихонов, О. В. Евдокимова, И. В. Бутенко. – DOI: 10.18821/0016-9900-2018-97-9-873-876 // Гигиена и санитария. – 2018. – Т. 97, № 9. – С. 873–877.

26. **Timakova, R.** Ionizing irradiation of chilled meat raw materials as the world's leading technology / R. Timakova, S. Tikhonov, N. Tikhonova. – DOI: 10.1007/978-3-319-74216-8_63 // Leadership for the future sustainable development of business and education / ed. by W. Strielkowski, O. Chigisheva. – Heidelberg : Springer, 2018. – P. 643–651.

27. **Timakova, R. T.** Effect of various doses of ionizing radiation on the safety of meat semi-finished products / R. T. Timakova, S. L. Tikhonov, N. V. Tikhonova, I. F. Gorlov. – DOI: 10.21603/2308-4057-2018-1-120-127 // Foods and raw materials. – 2018. – Vol. 6, № 1. – P. 120–127.

28. **Тимакова, Р. Т.** Оценка антиоксидантной активности яблок свежих разных помолологических сортов после обработки ионизирующим излучением / Р. Т. Тимакова. – DOI: 10.24411/0042-8833-2018-10033 // Вопросы питания. – 2018. – Т. 87, № 3. – С. 66–71.

29. Tikhonov, S. Practical aspects of leadership in neo-industrialization: quality and storage of meat products / S. Tikhonov, M. Lukinih, **R. Timakova**. – DOI: 10.1007/978-3-030-15495-0_47 // Sustainable leadership for entrepreneurs and academics / ed. by W. Strielkowski, O. Chigisheva. – Heidelberg : Springer, 2019. – P. 463–470.

30. **Timakova, R.** Determining the dose of radiation and radurisation effects on the antioxidant activity of fish and the thermophysical characteristics of fish muscle tissue / R. T. Timakova, S. L. Tikhonov, N. V. Tikhonova, S. V. Shikhalev. – DOI: 10.3390/foods8040130 // Foods. – 2019. – Vol. 8, № 4. – URL: <https://www.mdpi.com/2304-8158/8/4/130/htm>.

31. **Timakova, R. T.** Ionizing radiation treatment as an innovative process approach in food storage technology for modern agriculture / R. T. Timakova, S. L. Tikhonov, N. V. Tikhonova. – DOI: 10.1088/1755-1315/421/2/022015 // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2020. – Vol. 421, iss. 2. – URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/421/2/022015>.

Патенты

32. Патент № 2683518 Российская Федерация, МПК А23В 4/014, А23В 4/14, А23Л 3/26, F25С 1/00, F25С 5/02. Способ увеличения срока хранения вареных колбас : № 2018112395 ; заявл. 05.04.2018 ; опубл. 28.03.2019 / **Тимакова Р. Т.**, Тихонов С. Л., Тихонова Н. В., Ногина А. А. – 23 с.

Статьи в других журналах, сборниках материалов конференций

33. **Тимакова, Р. Т.** Оценка радиационной безопасности охлажденного мяса с использованием метода электронного парамагнитного резонанса / Р. Т. Тимакова, С. Л. Тихонов, А. Н. Тарарков, Л. С. Кудряшов. – DOI: 10.21323/2414-438X-2016-1-3-57-65 // Теория и практика переработки мяса. – 2016. – № 3. – С. 39–47.

34. **Тимакова, Р. Т.** Продовольственный рынок России: облученные пищевые продукты – миф или реальность? / Р. Т. Тимакова, С. Л. Тихонов // Научно-производственный журнал «Наука». – 2016. – № 4 (материалы междунар. конф. «Дулатовские чтения – 2016»). – С. 145–147.

35. **Тимакова, Р. Т.** Влияние ионизирующего излучения на показатели безопасности пищевых продуктов / Р. Т. Тимакова, С. Л. Тихонов, А. А. Мурадов // Индустрия питания. – 2017. – № 2 (3). – С. 64–69.

36. **Тимакова, Р. Т.** Радиационная безопасность как составляющая продовольственной безопасности страны / Р. Т. Тимакова // Актуальные

направления технологического, экономического и экологического развития сельского хозяйств : сб. материалов. междунар. науч.-практ. конф. – Екатеринбург : УралГАУ, 2017. – С. 482–487.

37. **Тимакова, Р. Т.** Оптимизация критериев оценки продовольственной безопасности / Р. Т. Тимакова, С. Л. Тихонов // Продовольственная безопасность в контексте новых идей и решений : материалы междунар. науч.-практ. конф. : в 2 т. – Семей : Гос. ун-т им. Шакарима, 2017. – Т. 1. – С. 181–183.

38. **Тимакова, Р. Т.** Новое в национальной нормативной базе по регламентации применения радиационных технологий в пищевой промышленности / Р. Т. Тимакова // Актуальные проблемы пищевой промышленности и общественного питания : сб. ст. XVII Всерос. науч.-практ. конф. – Екатеринбург : УрГЭУ, 2017. – С. 262–267.

39. **Тимакова, Р. Т.** Применение радиационных технологий и идентификация облученного мяса птицы / Р. Т. Тимакова // Индустрия питания. – 2018. – Т. 3, № 2. – С. 49–54.

40. **Тимакова, Р. Т.** Радиационная безопасность на современном потребительском рынке / Р. Т. Тимакова // E-forum. – 2018. – № 2 (3). – URL: <http://eforum-journal.ru/ru/home-ru?id=127>.

41. **Тимакова, Р. Т.** Безопасность облученной пищевой продукции как результат процессного подхода к управлению продовольственной безопасностью / Р. Т. Тимакова // Стратегические задачи по научно-техническому развитию АПК : материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Екатеринбург : УрГАУ, 2018. – С. 577–584.

42. **Тимакова, Р. Т.** Радиационные технологии – новые возможности обеспечения продовольственной безопасности / Р. Т. Тимакова // Техника и технология пищевых производств : сб. тр. XII Междунар. науч.-практ. конф. – Могилёв : МГУП, 2018. – Т. 2. – С. 417–418.

43. **Тимакова, Р. Т.** Радиационные технологии обработки продовольственного сырья и пищевых продуктов – современный тренд в области технологий хранения / Р. Т. Тимакова // Актуальные проблемы пищевой промышленности и общественного питания : материалы II Междунар. науч.-практ. конф. – Екатеринбург : УрГЭУ, 2018. – С. 108–122.

44. **Тимакова, Р. Т.** Применение радиационных технологий при обработке пищевых продуктов / Р. Т. Тимакова, С. Л. Тихонов, Н. В. Тихонова, Б. У. Байхожаева // Инновации в пищевой биотехнологии : сб. тр. междунар. симпозиума. – Кемерово : КеМГУ, 2018. – С. 249–253.

45. **Тимакова, Р. Т.** Современные способы хранения охлажденной рыбы / Р. Т. Тимакова // VI Балтийский морской форум : материалы междунар. форума. – Калининград : БГАРФ, 2018. – Т. 4. – С. 141–145.

46. **Тимакова, Р. Т.** Ионизирующее излучение как современная технология хранения охлажденного мяса / Р. Т. Тимакова // Инновационные технологии в сфере питания, сервиса и торговли : материалы V Междунар. науч.-практ. конф. – Екатеринбург : УрГЭУ, 2018. – С. 226–230.

47. **Timakova, R. T.** The influence of ionizing radiation on the thermo-physical properties of meat from the broiler chickens with different stress resistance / R. T. Timakova, S. L. Tikhonov, N. V. Tikhonova [et al.]. – DOI: 10.21323/2414-438X-2019-4-1-4-8 // Theory and practice of meat processing. – 2019. – Vol. 4, № 1. – С. 4–8.

48. **Тимакова, Р. Т.** Адаптация потенциометрического метода для оценки антиоксидантной активности семечковых плодов, обработанных ионизирующим излучением / Р. Т. Тимакова, С. Л. Тихонов // Вестник МГУП. – 2019. – № 2 (27). – С. 20–27.

49. **Тимакова, Р. Т.** Потенциометрический метод как современный адаптивный метод исследования антиоксидантной активности пищевых продуктов растительного происхождения / Р. Т. Тимакова // II Европейские игры-2019: психолого-педагогические и медико-биологические аспекты подготовки спортсменов : материалы Междунар. науч.-практ. конф. : в 4 ч. – Минск : БГУФК, 2019. – Ч. 2. – С. 279–282.

50. **Тимакова, Р. Т.** Сравнительная ЭПР-спектроскопия разных видов пряностей / Р. Т. Тимакова // Инновационные технологии в пищевой промышленности и общественном питании : материалы VI Междунар. науч.-практ. конф. – Екатеринбург : УрГЭУ, 2019. – С. 131–136.

51. **Тимакова, Р. Т.** Радиационные технологии – современный подход к обеспечению безопасности пищевых продуктов / Р. Т. Тимакова // Региональный рынок потребительских товаров и продовольственной безопасности в условиях Сибири и Арктики : сб. ст. VIII Междунар. науч.-практ. конф. – Тюмень : ТИУ, 2019. – С. 75–80.

52. **Тимакова, Р. Т.** Инновационные технологии хранения охлажденной рыбы: возможности новой индустриализации / Р. Т. Тимакова, С. Л. Тихонов, Н. В. Тихонова // Потребительский рынок: качество и безопасность товаров и услуг : сб. тр. X Междунар. науч.-практ. конф. – Орёл : ОГУ, 2019. – С. 355–359.

53. **Тимакова, Р. Т.** Показатели свежести молока как индикатор эффективности применения радиационных технологий / Р. Т. Тимакова // Техника и технология пищевых производств : материалы XIII Междунар. науч.-техн. конф. : в 2 т. – Могилёв : МГУП, 2020. – Т. 1. – С. 336–337.

Подписано в печать 14.09.2020.
Формат 60 × 84 ¹/₁₆. Гарнитура Таймс. Бумага офсетная. Печать плоская.
Уч.-изд. л. 2,0. Тираж 150 экз. Заказ

Отпечатано с готового оригинал-макета в подразделении оперативной полиграфии
Уральского государственного экономического университета
620144, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта/Народной Воли, 62/45