

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ФГБОУ ВО «Уральский государственный экономический университет»

На правах рукописи



Тимакова Роза Темерьяновна

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

Диссертация на соискание ученой степени

доктора технических наук

Специальность 05.18.15 –

Технология и товароведение пищевых продуктов
функционального и специализированного назначения и общественного питания
(технические науки)

Научный консультант:

доктор технических наук, профессор

Сергей Леонидович Тихонов

Екатеринбург – 2020

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
ГЛАВА 1. КОНЦЕПТУАЛЬНЫЙ ПОДХОД К ВЫБОРУ РАДИАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ПРОДОВОЛЬСТВЕННОГО СЫРЬЯ И ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ.....	17
1.1 Характеристика способов хранения пищевой продукции.....	17
1.1.1 Физические способы хранения пищевой продукции.....	19
1.1.2 Химические способы хранения пищевой продукции	24
1.1.3 Биологические способы хранения пищевой продукции.....	28
1.1.4 Комбинированные способы хранения пищевой продукции	29
1.2 Характеристика и теоретическое обоснование применения радиационных технологий для обработки продовольственного сырья и пищевых продуктов	32
1.2.1 Влияние ионизирующего излучения на микробиологическую безопасность пищевых продуктов	38
1.2.2 Влияние ионизирующего излучения на химический состав пищевых продуктов	43
1.3 Международная и отечественная нормативная база в области обработки пищевой продукции ионизирующим излучением.....	48
1.4 Современные методы идентификации продовольственного сырья и пищевых продуктов, обработанных ионизирующим излучением.....	61
1.4.1 Метод электронного парамагнитного резонанса	64
1.4.2 Унификация и персонализация метода ЭПР для различных видов пищевых продуктов	67
Заключение по аналитическому литературному обзору	74
ГЛАВА 2. ОРГАНИЗАЦИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА, ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	76
2.1 Организация эксперимента	76
2.2 Объекты исследования	79
2.3 Методы исследования.....	84
ГЛАВА 3. КАЧЕСТВЕННАЯ И КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПИЩЕВОЙ ПРОДУКЦИИ, ОБРАБОТАННОЙ ИОНИЗИРУЮЩИМ ИЗЛУЧЕНИЕМ, С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ЭПР	102
3.1 Математическое моделирование экспериментальных условий.....	109
3.2 Разработка адаптированной методики пробоподготовки разных видов пищевых продуктов и продовольственного сырья.....	113
3.3 Разработка методики количественного определения поглощенной дозы ионизирующего излучения	118

3.4	Качественная и количественная идентификация охлажденного мясного сырья.....	121
3.5	Качественная и количественная идентификация охлажденной рыбы	142
3.6	Качественная и количественная идентификация пряностей.....	153
3.7	Качественная и количественная идентификация плодов	156
	Заключение по главе 3	164
ГЛАВА 4. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА СОХРАНЯЕМОСТЬ ПИЩЕВОЙ ПРОДУКЦИИ ЖИВОТНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ		
4.1	Влияние ионизирующего излучения на сохраняемость охлажденного мяса и мясных полуфабрикатов в процессе хранения	171
4.1.1	Органолептическая оценка мясного сырья и мясных полуфабрикатов	171
4.1.2	Пищевая ценность охлажденного мясного сырья и мясных полуфабрикатов.....	187
4.1.3	Исследование показателей свежести мясного сырья и мясных полуфабрикатов.....	223
4.1.4	Исследование микробиологических показателей охлажденного мясного сырья и мясных полуфабрикатов.....	231
4.1.5	Гистологические исследования мясных полуфабрикатов	235
4.1.6	Оценка антиоксидантной активности охлажденного мясного сырья и мясных полуфабрикатов потенциометрическим методом.....	237
4.1.7	Исследование теплофизических свойств охлажденного мясного сырья.....	244
4.2	Влияние ионизирующего излучения на сохраняемость охлажденной рыбы в процессе хранения.....	250
4.2.1	Органолептическая оценка охлажденной рыбы.....	251
4.2.2	Пищевая ценность охлажденной рыбы.....	253
4.2.3	Исследование показателей свежести охлажденной рыбы	260
4.2.4	Исследование микробиологических показателей охлажденной рыбы	263
4.2.5	Оценка антиоксидантной активности охлажденной рыбы потенциометрическим методом	265
4.2.6	Исследование теплофизических свойств охлажденной рыбы.....	267
	Заключение по главе 4	270
ГЛАВА 5. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА СОХРАНЯЕМОСТЬ ПИЩЕВОЙ ПРОДУКЦИИ РАСТИТЕЛЬНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ.....		
5.1	Влияние ионизирующего излучения на сохраняемость пряностей в процессе хранения	274
5.1.1	Органолептическая оценка пряностей.....	276
5.1.2	Пищевая ценность пряностей.....	277
5.1.3	Исследование микробиологических показателей пряностей	278

5.1.4 Оценка антиоксидантной активности пряностей потенциометрическим методом	280
5.2 Влияние ионизирующего излучения на сохраняемость плодов свежих в процессе хранения	282
5.2.1 Органолептическая оценка яблок свежих.....	285
5.2.2 Пищевая ценность яблок свежих.....	287
5.2.3 Исследование микробиологических показателей яблок свежих	289
5.2.4 Оценка антиоксидантной активности яблок свежих потенциометрическим методом.....	291
Заключение по главе 5	293
ГЛАВА 6. ИССЛЕДОВАНИЕ ОСТРОЙ ТОКСИЧНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ ПИЩЕВОЙ ПРОДУКЦИИ, ОБРАБОТАННОЙ ИОНИЗИРУЮЩИМ ИЗЛУЧЕНИЕМ, НА ПРИМЕРЕ МЯСНОГО СЫРЬЯ.....	294
6.1 Биометрические показатели лабораторных животных	294
6.2 Клинические лабораторные исследования крови животных.....	295
Заключение по главе 6	299
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	300
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ	308
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	310
Приложение А – Патент 2683506. Способ хранения охлажденной рыбы	372
Приложение Б – Патент 2683518. Способ увеличения срока хранения вареных колбас.....	373
Приложение В – Технические условия	374
Приложение Г – Справки МТК 534. Проекты ГОСТ	385
Приложение Д – Оборудование, применяемое в ходе эксперимента	391
Приложение Е – ЭПР-спектроскопия пищевой продукции.....	396
Приложение Ж – Разработка прогнозных математических моделей.....	415
Приложение И – Органолептическая характеристика образцов мясного сырья	417
Приложение К – Органолептическая оценка образцов шейки свиной, упакованной с применением МГС.....	421
Приложение Л – Аминокислотный состав белков мясного сырья.....	427
Приложение М – Показатели безопасности мясного сырья	434
Приложение Н – Микробиологические показатели мясного сырья.....	443
Приложение П – Оценка качества охлажденной рыбы	448
Приложение Р – Оценка качества пряностей.....	452
Приложение Т – Оценка качества плодов свежих	456

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. В соответствии с указом Президента РФ от 1 декабря 2016 г. № 642 «О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации» обеспечение продовольственной безопасности России и конкурентоспособности отечественной продукции на мировых рынках продовольствия определяется технологиями.

За рубежом активно используются так называемые технологии холодной пастеризации. Наша страна была пионером в применении данной технологии в прошлом веке, однако требования к применению технологии ионизирующего излучения в российском законодательстве установлены лишь в 2016 г., а применять радиационные технологии разрешено для обработки некоторых видов пищевой продукции: с 2017 г. – пряностей сухих, трав и приправ овощных; продукции сельскохозяйственной свежей; мяса (кроме мяса птицы, конины и мяса домашнего кролика); упакованных мясных полуфабрикатов, с 2019 г. – рыбы и морепродуктов. В Российской Федерации разработана Дорожная карта, определяющая размещение радиационных центров по обработке пищевой продукции и сельскохозяйственного сырья, оценку возможностей встраивания радиационных технологий в существующие технологические циклы производства и переработки, создание современного парка мобильных облучателей и приборов для идентификации обработанной ионизирующим излучением (облученной) 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. Вопросы неэнергетического применения ядерных технологий рассматриваются в рамках развития ЯРМ-кластеров. Сформирован кластер ядерных и радиационных технологий в Калужской области, где в 2017 г. в соответствии с Дорожной картой открыт первый

в России центр обработки продуктов растительного и животного происхождения потоком ускоренных электронов ООО «Теклеор».

Вместе с тем остаются нерешенными многие вопросы в области обработки пищевой продукции ионизирующим излучением, такие как отсутствие на государственном уровне планомерной просветительской работы об эффективности и безопасности такого излучения для пищевой продукции; недостаточное понимание и боязнь репутационных рисков со стороны производителей продовольственного сырья и пищевых продуктов; несовершенство отечественной нормативной базы в области количественного определения поглощенных доз ионизирующего излучения.

Использование ионизирующего излучения позволяет обрабатывать пищевое сырье и пищевые продукты в больших объемах, в таре и без нее. За счет его проникающей способности возможно уменьшить микробиологическую обсемененность, обеспечить сохраняемость продукции в разных условиях хранения, в том числе без холодильного хранения, пролонгацию сроков годности и эффект поддержания свойств обработки, сохраняя при этом структурные свойства и агрегатное состояние свежего/охлажденного пищевого сырья/продукта и его высокое качество при минимальной потере питательных веществ. Обработка ионизирующим излучением позволяет предприятиям АПК быть конкурентоспособными на внешнем рынке.

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. Вон-

совский, 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. Chiavallo, 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 ученые 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. V. 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, И. М. Чернуха и ученые Б. А. Баженова, Р. Грау, Г. В. Гуринович, Г. О. Ежкова, А. И. Жаринов, В. И. Криштафович, 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 исследований, проведенных отечественными и зарубежными учеными, 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, 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 сохранности 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, основанные 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*).

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*).

5. В доклиническом исследовании на лабораторных животных, суточный 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. Решение проблемы безопасности пищевых продуктов и сельскохозяйственного сырья является одной из самых важных государственных задач в нашей стране, от решения которой в значительной степени зависит здоровье и будущее нации.

Теоретическая значимость работы. 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 совершенствования нормативной базы по идентификации и определению поглощенных пищевой продукцией доз ионизирующего излучения.

Практическая значимость работы. 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 сохранность 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 диссертации 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 исследования. Основные положения и результаты исследования обсуждены и доложены на конференциях международного и всероссийского уровня: VIII Международная научно-практическая конференция «Индустриализация – основа нового экономического роста Казахстана». Дулатовские чтения – 2016, посвященная 25-летию независимости Казахстана (Костанай, Республика Казахстан, 2016); международная научно-практическая конференция «Новая индустриализация: мировое, национальное, региональное измерение» (Екатеринбург, 2016); XVII Всероссийская научно-практическая конференция «Современное хлебопекарное производство: перспективы развития» (Екатеринбург, 2016); международная научно-практическая конференция «Стратегия 2050» – путь к стабильной экономике, политике и обществу» (Костанай, Республика Казахстан, 2017); международная научно-практическая конференция «Научно-технологическое развитие сельского хозяйства и природопользования: взгляд в будущее»

(Екатеринбург, 2017); международная научно-практическая конференция «Продовольственная безопасность в контексте новых идей и решений» (Семей, Республика Казахстан, 2017); международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы пищевой промышленности и общественного питания» (Екатеринбург, 2017); российская научно-практическая конференция, посвященная 70-летию юбилею заслуженного деятеля науки РФ, доктора биологических наук, профессора В. М. Позняковского «Инновационные технологии в пищевой промышленности и общественном питании» (Екатеринбург, 2017); международная научно-практическая конференция «Стратегические задачи по научно-техническому развитию АПК» (Екатеринбург, 2018); II Международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы пищевой промышленности и общественного питания» (Екатеринбург, 2018); XII Международная научно-практическая конференция «Техника и технология пищевых производств» (Могилев, Республика Беларусь, 2018); международный симпозиум «Инновации в пищевой биотехнологии» (Кемерово, 2018); VII Международная научно-практическая конференция «Пищевая и морская биотехнология» в рамках VI Международного Балтийского форума (Калининград, 2018); V Международная научно-практическая конференция «Инновационные технологии в сфере питания, сервиса и торговли» (Екатеринбург, 2018); конференция «Продовольственная и пищевая безопасность» в рамках IV Всероссийского конгресса «Промышленная экология регионов» (Екатеринбург, 2019); международная научно-практическая конференция «II Европейские игры – 2019: психолого-педагогические и медико-биологические аспекты подготовки спортсменов» (Минск, Республика Беларусь, 2019); VI Международная научно-практическая конференция «Инновационные технологии в пищевой промышленности и общественном питании» (Екатеринбург, 2019); VIII Международная научно-практическая онлайн-конференция «Региональный рынок потребительских товаров и продовольственная безопасность в условиях Сибири и Арктики» (Тюмень, 2019); XIII Международная научно-практическая конференция «Техника и технология пищевых производств» (Могилев, 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 и системы цитирования Web of Science и Scopus, 23 – в журналах, включенных в перечень рецензируемых научных изданий ВАК Минобрнауки России; получен один патент на изобретение.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа 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.

ГЛАВА 1. КОНЦЕПТУАЛЬНЫЙ ПОДХОД К ВЫБОРУ РАДИАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ПРОДОВОЛЬСТВЕННОГО СЫРЬЯ И ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

По данным ФАО, на протяжении всей логистической цепочки от переработки сельскохозяйственного сырья и производства пищевых продуктов до реализации в местах розничных продаж количественные и качественные потери пищевой продукции значительны; в мире ежегодно теряется почти треть всех пищевых продуктов, производимых для потребления, что является угрозой для устойчивого мирового развития [193; 385].

В нашей стране на разных этапах жизненного цикла товара происходят потери продукции растениеводства и животноводства, которые оцениваются в 30–40 % от общего объема производства. В связи с этим выбор и использование эффективных способов обработки и хранения в промышленных объемах, начиная с момента сбора урожая плодоовощной продукции и убоя скота и птицы, как основополагающего момента в обеспечении сохранности выращенного сельскохозяйственного сырья, является актуальным для агропромышленного комплекса (АПК) страны.

1.1 Характеристика способов хранения пищевой продукции

Согласно Стратегии экономической безопасности РФ на период до 2030 г., одним из основных направлений государственной политики на фоне проявления определенных кризисных явлений в ресурсно-сырьевой, производственной и научно-технологической сферах, обострения конкуренции за доступ к возобновляемым ресурсам продовольствия и пресной воды является создание экономических условий для разработки и внедрения современных технологий, стимули-

рования инновационного развития. Применяемые способы сохранения сырья и пищевых продуктов должны предотвратить порчу, возникающую под воздействием микробиальной, химической и ферментативной активности на этапах сбора, уоя, транспортировки, хранения и переработки. Фундаментальные исследования в технологии переработки пищевого сырья позволят обеспечить сохраняемость во всей технологической цепочке производства.

По оценкам ФАО, потери всех пищевых продуктов, производимых для потребления, достигают 1,3 млрд т в год [385], в том числе потери мяса и мясопродуктов достигают 20 %, что составляет 263 млн т [193]. Производство рыбы имеет свои особенности. Исторически сложилось так, что места вылова рыбы в районах естественного ареала в нашей стране территориально расположены на больших расстояниях от мест переработки и городских агломераций. Процесс порчи свежесвыловленной рыбы начинается через 12 ч после улова в неблагоприятных условиях. По данным J. Gustavsson и С. Cederberg, в период от выгрузки до потребления портится 27 % общемирового объема выгружаемой рыбы [385]. С учетом выбросов до выгрузки общемировые рыбные потери и отходы (процент от выгрузки) достигают 39 % [281]. В процессе хранения свежих плодов в результате естественно протекающих физических, биохимических и химических процессов происходит ухудшение товарного вида, активизация окислительных процессов, гидролитический распад сложных органических соединений, что приводит к уменьшению содержания витаминов, органических кислот, дубильных веществ, флавоноидов. В процессе дыхания возможно увеличение температуры плодов, что способствует микробиальной порче. Плоды также подвержены физиологическим заболеваниям, первичное заражение которыми происходит в основном на этапе вегетационного роста. Потери свежих плодов и овощей в общемировом масштабе составляют около половины всего выращенного урожая [252].

На протяжении многовековой истории жизнедеятельности человечества видоизменялись способы сохранения сельскохозяйственного сырья и пищевых продуктов, начиная от воздействия холодом, сушкой до современных способов консервирования. В современных условиях способы хранения/обработки во многом

основаны на комплексе факторов воздействия: физико-химических, физико-биологических, химико-биологических, что обусловлено возросшими требованиями потребительского рынка к сохраняемости и качеству пищевой продукции.

Принцип жизнедеятельности живых систем и соответственно способов хранения пищевого сырья основан на частичном или полном подавлении протекающих в нем биохимических процессов (в основе лежит классификация профессора Я. Я. Никитинского). Наряду с традиционными способами хранения, для обеспечения высоких показателей качества и безопасности пищевых продуктов и сырья и продления сроков годности биопродуктов животного и растительного происхождения с одновременной инаktivацией вредной микрофлоры и насекомых/вредителей исследователи опытным путем предлагают современные способы обработки пищевого сырья. Исходя из принципов хранения, природы консервирующих факторов и соответствующих методов для обеспечения сохраняемости пищевой продукции способы консервирования условно можно разделить на три группы на основе симбиоза факторов воздействия разной природы: физические, химические и биологические.

1.1.1 Физические способы хранения пищевой продукции

В основу физических способов заложены все принципы хранения пищевой продукции – поддержание, подавление и прекращение жизнедеятельности микроорганизмов: биоз через гембиоз; анабиоз (термоанабиоз, осмоанабиоз, ксеноанабиоз); абиоз (термоабиоз, воздействие ионизирующим излучением, механическая стерилизация) в зависимости от видов пищевой продукции; ценоанабиоз через алкоценоанабиоз. Если для свежих/сушеных плодов и овощей наиболее актуален принцип поддержания естественного баланса, то для мясного и рыбного сырья – от подавления до уничтожения микробной среды.

В настоящее время применение физических методов хранения в промышленных масштабах наиболее распространено на территории Российской Федерации.

Консервирование холодом – древнейший способ хранения, который занимает лидирующие позиции за счет возможности эффективно, быстро и безопасно замедлить процессы микробиальной, ферментативной и биохимической порчи. В России в общем объеме производства более 80 % говядины, 94 % свинины и 64 % птицы занимает охлажденная продукция, в то время как производство охлажденной рыбы занимает до 22 %, которая в основном реализуется в замороженном состоянии. В зависимости от температуры охлаждения различают такие способы, как замораживание, охлаждение, подмораживание под воздействием воздушной среды (газообразный и жидкий азот, инертные газы, воздушный поток), твердые среды (лед, контактное охлаждение от сплавов металлов при помощи плиточной установки), жидкая среда (морская вода, растворы хлорида, суспензии воды и льда, льдосоляная смесь).

Воздушный способ, при котором теплота от продукта принимается воздухом/воздушной средой и передается поверхности охлаждающих приборов, нашел наибольшее распространение во всех странах. Воздух – естественная и достаточно инертная среда. Широкое использование этого способа обусловлено его простотой и универсальностью. К недостаткам можно отнести неравномерность замораживания, относительно низкую способность воздуха аккумулировать тепло и предрасположенность его к поглощению влаги. При замораживании продуктов происходят потери массы продукта вследствие его усушки за счет обезвоживания клеток.

Мясное сырье в РФ обычно замораживается для длительного холодильного хранения или при транспортировании на значительные расстояния. Установлено, что наиболее эффективно применение интенсивного (ускоренного, «шокового») охлаждения/замораживания мяса и мясопродуктов с сохранением показателей физической свежести, таких как цвет, получение корочки подсыхания. Высокая скорость отвода температуры способствует понижению температуры ниже криоскопической и сокращению популяции микроорганизмов [528]. При этом увеличиваются сроки хранения: говядина хранится до 20–30 сут, тушки птицы – до 40 сут.

В качестве промежуточного варианта востребована технология подмораживания. Так, при подмораживании мясного фарша влага не выступает на поверхность продукта, так как образующаяся замороженная корка отжимает часть влаги в незамороженную зону фарша, соответственно повышая его влажность, отмечают В. М. Стефановский и соавторы [217]. Для нивелирования недостатков по усушке продуктов применяется глазирование.

При длительном хранении мяса в замороженном виде происходят денатурационные изменения различных миофибриллярных белков – параамиозина, миозина, миогена и тропомиозина, приводящие к возрастанию содержания фракций низкомолекулярных белков [115]. А. Н. Гурьевой и Е. В. Ивановой показано, что при хранении мяса в замороженном состоянии снижается содержание незаменимых аминокислот [63]. По данным Е. Н. Воеводовой, при длительном холодильном хранении мяса уменьшается содержание общего количества заменимых аминокислот и увеличивается содержание незаменимых аминокислот, появляются лимитирующие аминокислоты [29].

Среди различных способов замораживания наиболее перспективным является криогенный метод, применение которого приводит к формированию микрокристаллической структуры с мелкими кристалликами льда в межклеточном пространстве, обеспечивающей минимальные потери сока при размораживании, к сохранению вкуса и товарного вида продукта, гигиеничности, к снижению потерь от усушки, к ингибированию развития аэробной микрофлоры [79]. Замораживание мяса жидким азотом при температуре минус 196 °С в течение нескольких минут способствует сохранению аромата парного мяса.

Активно применяется замораживание под вакуумом. На превращение жидкости в пар в разреженной среде затрачивается определенное количество тепловой энергии, благодаря чему понижается температура замораживаемого продукта.

Для увеличения сроков хранения мяса птицы и рыбы в результате ингибирования микроорганизмов применяется перспективный способ холодильной обработки под воздействием холодной газовой и жидкой среды – диоксида углерода или смеси из газа и диспергированного в него твердого CO₂. В Российской

Федерации в качестве твердых охлаждающих сред для рыбы применяются искусственный лед с заданными технологическими характеристиками (форма и размер кристаллов, степень микробиологической чистоты, добавки и др.), так называемый «жидкий лед» – однородная взвесь кристаллов льда сферической формы в рассоле или пресной воде [349]. Эффективно использование пузырькового льда как бинарной взвеси, насыщенной озоном [30].

Применение многоступенчатого процесса изготовления льда с добавлением разных видов пищевых добавок, основанное на комбинированном действии *физических* и *химических факторов*, также позволяет продлить сроки хранения охлажденной рыбы. Использование электроактивированной воды с рН среды, равной 5,2–5,5 ед., для изготовления чешуйчатого льда позволяет увеличить срок хранения рыбы до 37 сут при температуре от минус 1 до минус 3 °С [184]. Нами предлагается применение 1–3 %-го электроактивированного водного раствора арабиногалактана с рН 5,2–5,5 ед. при производстве мелкочешуйчатого льда как охлаждающей среды, что позволит увеличивать сроки хранения охлажденной рыбы в 1,6 раза [185].

В то же время исследованиями ученых установлено, что изменение белковых фракций в животном сырье носит разнонаправленный характер, который зависит от вида сырья и температуры обработки [74; 155].

Консервирование продукции растительного происхождения с учетом сезонности выращивания позволяет сохранить пищевую и биологическую ценность в течение длительного времени. Наиболее приемлемым способом сохранения плодов и овощей считается холодильное консервирование при криоскопических температурах.

Современные способы сушки позволяют сохранять питательные вещества, после непродолжительного замачивания сушеные продукты восстанавливают цвет, аромат, форму, вкус. Наиболее перспективные технологии сушения: конвективная, кондуктивная, вакуумная сублимационная (лиофилизация или возгонка), высокочастотная, современная экологически чистая инфракрасная технология.

При ультразвуковом воздействии на микроорганизмы происходит разрыв клеточных мембран и нарушение целостности клеток, а также повреждение ДНК, которое вызывает их гибель [34], что определяет эффективность применения таких технологий обработки. Лазерная обработка мясных туш/полутуш применяется перед подачей в холодильник для подавления численности микроорганизмов (культуры кишечной палочки и стафилококка золотистого) [183]. 1,5–2 Мрад (15–20 кГр*) являются оптимальной дозой для эффективного подавления большинства вредоносных микроорганизмов при лазерной обработке мясных туш. Необходимость увеличения дозы облучения до 3–5 Мрад (30–50 кГр) диктуется безопасностью мяса в отношении *Cl. botulinum* [136]. Обработка ультрафиолетовым излучением позволяет продлить сроки годности мясного сырья. Наибольшей бактерицидной эффективностью для мяса обладает УФ-излучение с длиной волны 253,7 нм [136]. Для охлажденной рыбы применяется ультрафиолетовое излучение с длиной волн от 200 до 315 нм, но стерилизующее действие ультрафиолетовых лучей отличается незначительной проникающей способностью (до 0,1 мм), при этом одновременно возможны изменения в структуре пищевых ингредиентов охлажденной рыбы: денатурация белков, усиление перекисного окисления жиров и инактивация ферментов.

При воздействии на мясное сырье низкочастотным электромагнитным полем происходит разрыв водородных связей в сырье, что усиливает внутримолекулярные превращения. Перспективным способом, активно применяемым за рубежом и малоизученным в РФ, является обработка высоким давлением, которая способствует повышению сохраняемости пищевых продуктов в результате инактивации микроорганизмов и дрожжей, улучшению структуры продуктов и интенсификации ароматических свойств [35; 104; 313; 370; 400; 447]. Ингибирующий эффект обработки высоким давлением обусловлен повреждением клеточной мембраны микроорганизмов, конформацией белковых молекул, клеточных белков и ферментов за счет разрыва гидрофобных связей, а при увеличении давления – разрывом

* Здесь и далее перевод в кГр выполнен автором диссертационной работы.

водородных связей [421]. Исследователи установили, что по устойчивости к давлению микроорганизмы можно расположить в таком же порядке, как и по устойчивости к нагреву [323]. По данным J. C. Cheftel, существует порог, равный 300 МПа, ниже которого погибают не все микробные клетки [345]. При повышении давления сверх 300 МПа происходит необратимая денатурация мышечных и соединительнотканых белков, которая зависит не только от величины давления, но и от длительности его воздействия [348]. По данным исследований ряда авторов [278; 401; 421; 427] установлено, что при обработке высоким давлением практически исключаются потери питательных ингредиентов и экстрактивных веществ, которые наблюдаются при традиционном тепловом воздействии. При изучении влияния высокого гидростатического давления на мясо птицы Л. Г. Винниковой и И. А. Прокопенко установлено, что под действием давления от 500 до 700 МПа происходит инактивация патогенной микрофлоры [27]. В результате экспериментальных исследований показано, что обработка высоким давлением положительно влияет на срок хранения говядины [207; 277].

Физические способы хранения определяются в основном параметрами воздушной среды, технологическими параметрами производственных процессов, биологическими процессами, протекающими в пищевых продуктах и микроорганизмах, и позволяют обеспечить сохранность скоропортящегося пищевого сырья и продуктов при соблюдении этих параметров.

1.1.2 Химические способы хранения пищевой продукции

В основу химических способов заложены принципы хранения анабиоза (наркоанабиоз); абиоза (химабиоз) и частично ценоанабиоза (ацидоценоанабиоз) – для консервированных плодов и овощей, мясного и рыбного сырья, мясопродуктов и рыбопродуктов.

Применение газовых сред позволяет инактивировать микробную среду. Предлагается упаковывание в разных газовых средах: в среде инертного газа (N_2 , CO_2 , Ar); в регулируемой газовой среде (РГС); в модифицированной газовой среде (МГС) с широкими пределами по составу газа. Работами ВНИХИ установлено, что применение атмосферы, содержащей 99 % азота при температуре 0 °С, способствует продлению срока хранения охлажденного мяса до 20 сут. При этом обеспечивается сохранение цвета мяса и затормаживается развитие аэробной психрофильной микрофлоры [136]. Технология хранения в газовой среде (регулируемой или модифицированной) появилась в результате совершенствования технологии вакуумирования. Для свежих мясных продуктов с целью сохранения исходного красного цвета в смеси указанных газов должно быть повышенное содержание O_2 и CO_2 (например, 80–90 % и 20–10 % соответственно), а при упаковывании свежих фруктов и овощей – пониженное содержание O_2 (до 3–8 %) и повышенное содержание CO_2 (до 15–20 %). Оптимальный состав газовой среды для разной свежей продукции индивидуален при условии соотношения содержания CO_2 и O_2 более 1,6 [17]. В некоторых странах при хранении охлажденного мяса и рыбы применяется жидкий азот, являющийся инертным газом. Срок хранения мяса увеличивается до 20 сут, рыбы – до 10 сут.

Спрос потребителей на свежие продукты без добавок привел к развитию метода РГС для улучшения внешнего вида пищевых продуктов, уменьшения отходов и увеличения срока годности при хранении [314]. Газовые среды, применяемые в упаковке по методу РГС, должны быть выбраны так, чтобы соответствовать конкретному пищевому продукту с определенной концентрацией углекислого газа, кислорода и азота [354]. Газообразная смесь любого состава внутри вакуумного пакета приводит к резкому снижению скорости процесса дыхания продукта, замедлению роста микроорганизмов и подавлению процесса гниения, вызванного энзиматическими спорами, что позволяет продлить сроки хранения. Упаковка в вакуумформованную пленку на подложке (ВФП) позволяет преодолеть недостатки РГС и вакуумной упаковки: образуя так называемую «вторую кожу», ВФП предотвращает образование кристаллов льда на поверхности продукта, исключая тем самым

холодовый ожог и обезвоживание, а также подчеркивает естественный внешний вид и исключает деформацию продукта [478]. Применение термоусадочных пакетов, отмечают С. Ю. Бузоверов и Н. В. Постникова, упрощает процесс упаковывания в МГС. Усаживаемая при нагреве пленка обладает высокой кислородонепроницаемостью даже в атмосфере с повышенным содержанием кислорода (до 70–80 %) и высокой ароматонепроницаемостью, хорошо сохраняет первичный цвет свежего мяса и витамин С в сухих концентратах фруктовых соков [17]. Повышению качества и срока сохранения продуктов, упаковываемых в МГС и РГС, при современном способе упаковки охлажденной продукции (так называемое активное упаковывание) служит использование поглотителей – газопоглощающих веществ, вводимых в состав полимерной упаковки или укладываемых внутрь нее вместе с пищевыми продуктами [17; 354; 445].

Для обеспечения качества охлажденных мясных полуфабрикатов в процессе хранения используют технологию ESL (Extended Shelf Life – увеличенный срок хранения), заключающуюся в упаковке продуктов в вакуумную скин-упаковку (*Vacuum Skin Packaging*) и модифицированную газовую среду [414; 417; 520]. Для красного мяса используют МГС с высоким содержанием кислорода [443; 534]. Но вместе с тем высокое содержание кислорода в упаковке активизирует окислительные процессы липидов в мясе (окисление полиненасыщенных жирных кислот), которые оказывают негативное воздействие на органолептические показатели, такие как консистенция, вкус и цвет [425; 443]; кроме того, кислород среды способствует превращению ярко-красного оксимиоглобина в процессе хранения в серо-коричневый метмиоглобин [448].

По утверждению зарубежных исследователей, углекислый газ обладает бактериостатическим и фунгиостатическим свойством, замедляет рост плесени и аэробных бактерий. При концентрации 25 % достигается максимальное подавление аэробной микрофлоры [414]. В РГС для подавления роста аэробных микроорганизмов уменьшают долю кислорода. Однако кислород необходим для сохранения цвета в красном мясе [218]. По данным А. Stirling-Roberts, упаковка в вакууме для охлажденного красного мяса увеличивает срок хранения путем удаления кислорода

и, соответственно, подавления роста аэробных микроорганизмов и уменьшения скорости окислительной порчи [497]. И. Д. Мурашов и Д. А. Журавлева отмечают, что повышение концентрации CO_2 способствует подавлению жизненных функций микробиальной среды и процессов окисления жиров охлажденных мяса и мясопродуктов. Для свинины охлажденной рекомендуется хранение в атмосфере с концентрацией CO_2 до 25–50 % [136]. В свинине, упакованной с применением МГС, фиксируется наименьшее содержание молочнокислых бактерий.

Исследователями [414; 417] установлено, что при хранении свинины в вакуумной скин-упаковке и в МГС количество популяций психротрофных бактерий сопоставимо. При этом в свинине, упакованной с применением МГС, зафиксировано наименьшее содержание молочнокислых бактерий. Но упаковка мяса в вакууме способствует выделению мясного сока, который накапливается в складках поверхности пленки упаковки, что ухудшает потребительские свойства пищевой продукции [441] и является средой для микробиологической порчи. Следует отметить, что охлажденное мясо отличается высоким значением показателя активности воды. В американском «Кодексе пищи» (Food Codex, 2013 г.) отражены рекомендации по определению условий хранения пищевых продуктов в зависимости от рН и уровня активности воды [376]. Л. Ляйстнер и Г. М. Гоулд (2006 г.) отмечают существенную роль активности воды (AW) в обеспечении безопасности и качества пищевых продуктов [118].

В целях продления сроков годности охлажденной пищевой продукции применяются пищевые добавки натурального и искусственного (синтетического) происхождения: аскорбиновая кислота для повышения антимикробной активности сульфитов и нитратов [513]; молочная кислота и лактаты за счет ингибиторного потенциала для микроорганизмов при снижении рН среды [484]; хлорид натрия – для инактивации автолитических ферментов (катепсинов, протеаз) [491]; этилендиаминтетрауксусная кислота (ЭДТА) как прооксидант, ингибитор окисления липидов – для уменьшения содержания тяжелых металлов путем комплексообразования и связывания двухвалентных катионов в клеточной мембране микроорганизмов [21; 489]. Отечественные ученые проводят исследования по влиянию

обработки пищевой продукции антиокислителями на сроки хранения. Обработка поверхности мяса при погружении или путем орошения водными растворами аскорбиновой, лимонной, сорбиновой, уксусной и других органических кислот и их солей способствует подавлению жизнедеятельности микроорганизмов и повышению сохраняемости мяса при хранении, позволяет сохранить полутуши и четвертины говядины при 7 °С и относительной влажности воздуха 95 % до 7 сут, бараньи туши при 10 °С и относительной влажности 78–85 % – до 5–6 сут.

Добавление антиокислителей защищает жиры и жиросодержащие продукты от прогоркания, предохраняет плоды и продукты их переработки от потемнения. К естественным окислителям, используемым в мясной отрасли, относятся токоферолы (применяемые в качестве эмульсий в количестве до 0,3 %), аскорбиновая кислота (нормы 0,01–0,1 %), пропилгаллат (количественные пределы введения 0,005–0,02 %), соевое масло (норма использования 0,1–0,6 %). Антиоксидантными свойствами обладают специи: розмарин, кардамон, кориандр, горчица, красный перец и экстракты, полученные на их основе (количественные пределы введения от 0,03 до 0,2 %) [109].

Одновременно с этим, по мнению В. Г. Кайшева и С. Н. Серегина, внесение большого количества разного рода добавок в процессе производства пищевой продукции и их употребление может наносить вред организму человека [83]. Сохранность пищевых продуктов при применении химических способов определяется за счет некоторого взаимодействия составляющих элементов воздушной среды и пищевых добавок с пищевыми продуктами на молекулярном уровне; химические способы более индифферентны к внешней среде.

1.1.3 Биологические способы хранения пищевой продукции

В основу биологических способов заложен принцип ценоанабиоза (ацидоценоанабиоз и алкоценаанабиоз) при использовании бактериостатиков микробиаль-

ной природы и продукции их жизнедеятельности. Использование бактериостатиков обогащает микрофлору, улучшает органолептические показатели (цвет, вкусоароматический профиль) и улучшает сохранность пищевой продукции.

Для формирования высоких органолептических характеристик мясопродуктов в технологическом цикле производства используются пробиотические культуры бифидобактерии и молочнокислые микроорганизмы *Lactobacillus* [2; 92; 288; 393]. С введением в измельченное мясное сырье культуральной жидкости, которая является побочным продуктом, получаемым при производстве концентратов пропионовокислых бактерий, увеличивается срок годности вареных колбас до 10–12 сут. Однако достаточно высокая выживаемость пропионовокислых бактерий в чистом виде не является гарантией длительного сохранения жизнеспособности культуры и ее свойств в непосредственно вареных колбасах [181].

Собственно биологические способы являются менее распространенными для хранения мясного и рыбного сырья.

1.1.4 Комбинированные способы хранения пищевой продукции

В отдельную группу способов хранения можно выделить применение упаковки и защитного покрова, сочетающие комбинированное действие физических, химических и биологических факторов. В пищевой промышленности активно используются возможности упаковки для повышения хранимостности пищевой продукции, такие как упаковка мяса в рукавную пленку, которая состоит из трех слоев разного состава: сополиамида, модифицированного полиолефина, гомополиамида [174; 175; 176]. «Активная» упаковка, способная направленно воздействовать на продукт за счет содержания специальных добавок, поддерживает товарный вид и сохраняет органолептические свойства пищевой продукции [283]. Как отмечают Л. М. Павловская и Н. В. Федорова-Гудзь, прослеживается тенденция к созданию материалов с антимикробными свойствами для максимального сохранения

пищевых продуктов [156]. Существует ряд полимерных упаковочных материалов, модифицированных различными веществами, обладающих бактерицидными и консервирующими свойствами: лаурилтиодипропионатом, фосфатом или роданидом серебра, пищевыми консервантами и другими веществами [178; 282; 308]. Одним из актуальных направлений становится производство экологически чистой бактерицидной упаковки для продуктов с длительным сроком хранения. Разработаны упаковки из пищевых и синтетических полимеров с добавлением биоразлагаемых элементов [161; 162; 163; 164; 165; 166; 167; 168; 169; 170; 171; 172]. Известны технические решения перевода пленок на основе солевой водорастворимой формы хитозана в нерастворимое в воде состояние [84]. Материалы на основе хитозана обладают биodeградируемостью, биосовместимостью, способностью подавлять развитие микроорганизмов [87; 215; 402].

Защитная упаковка как путем нанесения различного состава защитных покрытий на поверхность продукта или его упаковывание (применение защитного покрова) основано на усилении *физических* (например, охлаждение, давление), химических (МГС, антиокислители) и *биологических* (радикация, микробиальные препараты) *факторов* и продлении сроков хранения. Для плодов и овощей применяются ростстимулирующие или ретингибирующие (этиленпродуценты как фитогормоны, токи СВЧ) или ускоряющие дозревание защитные покрытия. Защитные покрытия являются эффективным средством увеличения стойкости мяса: они предохраняют мясо от загрязнения, микробиальной порчи, уменьшают или исключают окисление и усушку. В качестве пленкообразующих покрытий могут использоваться желатин (полученный на основе белка – коллагена), ацетиглицериды (на основе жиров), покрытия на основе синтетических полимеров – альгинаты, поливиниловый спирт, а также материалы, полученные на основе производных целлюлозы. Защитное покрытие обладает достаточной прочностью и адгезией при минусовых температурах [136]. Для мяса и мясопродуктов очень важным является внешний вид, в частности сохранение естественного цвета мяса, при использовании кислородобарьерной упаковочной пленки, содержащей оксид-азотное соединение из группы нитрита натрия, нитрата натрия, нитрита калия, нитрата калия и их

смесей или других агентов [180; 182]. Покрытие рыбного и мясного сырья защитным слоем, включающим раствор хитозана [172; 179], позволяет продлить сроки хранения. Обработка свежей рыбы порошковой сахарозой в один слой обеспечивает сохранность рыбы до 3 мес. хранения при температуре $(2 \pm 6) ^\circ\text{C}$ [160]. Исследователями предлагается естественная антиокислительная активная упаковка, которая обладает преимуществами по сравнению с добавлением антиоксидантов непосредственно в пищу [485].

Предложено использовать обработку дозами ионизирующего излучения 1–3 кГр в комплексе с другими методами воздействия (добавление мелкочешуйчатого льда, приготовленного из 5–7 % водного раствора арабиногалактана, в мясной фарш при приготовлении вареных колбас вместо воды согласно рецептуре), что позволяет продлить срок годности вареных колбас в три раза по сравнению с требованиями ГОСТ 23670-2019 [186].

Комбинированные способы наиболее эффективны для хранения охлажденного пищевого сырья. В результате проводимых учеными исследований формируются современные прогрессивные технологии хранения, одновременно с этим совершенствуются традиционные. Однако некоторые разработки остаются только на уровне экспериментальных исследований по ряду причин: низкая эффективность внедрения, несущественное сокращение товарных потерь по сравнению с применяемыми технологиями, низкий уровень технологичности для внедрения на промышленной основе, отсутствие финансовых ресурсов для внедрения, а также невозможность выделить в отдельный способ, если разработка основана на симбиозе разных способов хранения и является не основным, а только улучшающим способом. Хранение в замороженном состоянии и вакуумной среде, обработка ультрафиолетовыми и инфракрасными лучами, антиокислителями и антибиотиками, внесение пищевых добавок в охлаждающие среды или непосредственно в продукт приносят определенные положительные результаты, однако оказывают незначительное влияние на микрофлору или требуют больших экономических затрат. Более длительные сроки хранения обеспечиваются за счет замораживания, стерилизации, сушки. Однако применение пониженных температур требует постоянного поддержания

заданных температурных значений и, соответственно, холодильного оборудования, а также дополнительных условий. Для длительного хранения можно рассматривать только консервированную продукцию, которая более адаптирована к условиям хранения и температурным перепадам. Традиционные технологии при обеспечении микробиологической безопасности влияют на изменение органолептических показателей пищевого сырья и не соответствуют требованиям и ожиданиям современного потребительского рынка в доступе к свежей и охлажденной продукции.

На основании вышеизложенного установлено, что применение традиционных и более современных методов для пролонгации сроков годности и сохранения качества пищевого сырья, в частности мясного и рыбного, необходимо рассматривать в комплексе. Требуются технологии, позволяющие обрабатывать большие объемы, способные уменьшать микробиологическую обсемененность, обладающие высокой эффективностью, обеспечивающие сохранность в разных условиях хранения, в том числе без холодильного оборудования, и эффект поддержания свойств обработки, сохраняя при этом структурные свойства, органолептические показатели и высокое качество свежего/охлажденного пищевого сырья/продукта при минимальной потере питательных веществ.

1.2 Характеристика и теоретическое обоснование применения радиационных технологий для обработки продовольственного сырья и пищевых продуктов

Для продления сроков годности скоропортящегося пищевого сырья учеными предложена принципиально новая перспективная технология – обработка ионизирующим излучением (гамма-излучение от радионуклидов ^{60}Co и ^{137}Cs , рентгеновское излучение, облучение электронными пучками). В основе этой технологии лежит компетентный подход воздействия излучения: компетенция стимуляции и подавления роста и развития для семян, вегетирующих сельскохозяйственных

растений и животных; компетенция ингибирования, инактивации, дезинсекции и стерилизации сельскохозяйственной продукции и пищевых продуктов за счет воздействия на микроорганизмы, вредителей и паразитов. Возможность снизить микробиологическую нагрузку, оказывая минимальное воздействие на органолептические показатели и пищевую ценность, позволяет рассматриваемой технологии занимать лидирующее место среди существующих способов, обеспечивающих хранение продукции и продовольственного сырья [325].

Появлению технологий, основанных на использовании ионизирующего излучения и применяемых в настоящее время для обработки пищевой продукции, способствовали открытия в области физики. В 1904 г. Самуэль Прескотт впервые описал бактерицидные эффекты излучения [471]; в 1905 г. (по другим данным – в 1906 г.) в Великобритании зарегистрирован (Дж. Аплеби и А. Бэнкс) первый патент на метод обработки излучением пищевых продуктов. 1950–1970-е годы ознаменовались широкомасштабными исследованиями подобных технологий в Западной Европе и США, и с 1953 г. начала активно проводиться замена технологии замораживания и консервирования на обработку ионизирующим излучением.

В нашей стране в период с 1958 по 1983 г. исследования по использованию ионизирующего излучения в пищевой промышленности проводились во ВНИИ консервной и овощесушильной промышленности, ВНИИ зерна и Институте питания АМН СССР. В 1958 г. в СССР одобрили обработку излучением картофеля и зерна [126], в 1964–1967 гг. – обработку овощей, фруктов, мяса и мясных изделий, рыбы, консервов, круп, муки, специй. В 1970-е годы Институтом ядерной физики им. Г. И. Будкера СО АН в Одесском портовом элеваторе установлено два ускорителя для обработки ионизирующим излучением зерна на импорт (производительностью 30 т/ч – крупнейший в мире) [3]; до 1991 г. в Одессе было обработано 2 млн т зерна. Установлена оптимальная доза облучения – 200 Гр. В настоящее время зерно для дезинсекции обрабатывается дозами от 150 до 500 Гр [297]. В 1991 г. еще одна установка была построена на элеваторе в г. Волгодонске Северо-Кавказского региона (в два раза меньше Одесской), но она не была запущена из-за распада СССР.

В 1990-е годы практическое применение ионизирующего излучения на территории Российской Федерации было приостановлено.

В 1970 г. в Париже 19 стран подписали Международную программу в области облучения пищевых продуктов. Вопросами радиационной безопасности продовольствия занимаются на высоком общемировом уровне: ФАО, ВОЗ, МАГАТЭ, создана Международная консультативная группа по облучению пищевых продуктов. В 1981 г. объединенный комитет экспертов ФАО, МАГАТЭ и ВОЗ в ходе результатов изучения многочисленных экспериментальных исследований пришел к выводу о том, что обработка любого пищевого продукта дозами, не превышающими 10 кГр, не вызывает токсического действия и не требует дальнейших токсикологических исследований обработанной продукции. В то же время максимально допустимые дозы облучения пищевой продукции в разных странах различны: так, в США – 30 кГр, в Бельгии и Голландии – 10 кГр, во Франции – 11 кГр.

В настоящее время более 100 наименований пищевых продуктов и сельскохозяйственного сырья обрабатываются ионизирующим излучением с целью увеличения сроков годности и сохранения товарного вида. Основной объем обработанной таким способом растительной продукции (более 50 %) составляют специи, сушеные овощи и фрукты, затем корнеплоды и лук [435].

С 1985 г. во всем мире (кроме РФ и стран СНГ) разрешено облучение специй, пшеницы, пшеничной муки и картофеля (1985 г.), мяса птицы (1992 г.), говядины, баранины и свинины (1999 г.). В 2011 г. Комиссия Европейского управления по безопасности пищевых продуктов (EFSA) подтвердила эффективность обработки ионизирующим излучением для обеспечения микробиологической безопасности продуктов питания. Консервирование посредством применения ионизирующего излучения называют холодной стерилизацией, или пастеризацией, так как стерилизующий эффект достигается без повышения температуры.

Россия находится на начальной стадии формирования рынка пищевых продуктов, обработанных ионизирующим излучением. Установлено, что «радиационная обработка пищевых продуктов представляет собой процесс, в котором продукты подвергаются ионизирующему облучению с целью улучшить их безопас-

ность и качество. Она предназначена для применения только к продуктам, произведенным с соблюдением принципов „надлежащей производственной практики“ (GMP)» [57]. В соответствии с решением президиума Совета при Президенте России по модернизации экономики и инновационному развитию от 11 декабря 2014 г. в нашей стране с 2017 г. разрешено применение ионизирующего излучения для пищевых продуктов и продовольственного сырья в целях фитосанитарной обработки и продления сроков хранения: пряности, травы и приправы овощные – согласно межгосударственному стандарту ГОСТ 33271-2015 «Пряности сухие, травы и приправы овощные. Руководство по облучению в целях борьбы с патогенными и другими микроорганизмами», устанавливающему диапазоны минимальных доз для 19 видов пряностей [45]; продукция сельскохозяйственная свежая – согласно ГОСТ 33302-2015 «Продукция сельскохозяйственная свежая. Руководство по облучению в целях фитосанитарной обработки», содержащему список биологических видов вредителей, имеющих карантинное значение [46]; мясо и мясопродукты – согласно ГОСТ 33820-2016 «Мясо свежее и мороженое. Руководство по облучению для уничтожения паразитов, патогенных и иных микроорганизмов» (кроме мяса птицы, конины и мяса домашнего кролика) [49] и ГОСТ 33825-2016 «Полуфабрикаты из мяса упакованные. Руководство по облучению для уничтожения паразитов, патогенных и иных микроорганизмов» [50]. С февраля 2019 г. разрешено обрабатывать ионизирующим излучением рыбу и морепродукты согласно ГОСТ 34154-2017 «Руководство по облучению рыбы и морепродуктов с целью подавления патогенных и вызывающих порчу микроорганизмов» [52].

Активное распространение обработки ионизирующим излучением продовольственного сырья во всем мире позволяет снижать его потери на всех этапах производственной цепочки, начиная от забоя скота, вылова рыбы и морепродуктов до реализации на розничном потребительском рынке [4]. Применение ионизирующего излучения является перспективным направлением для обработки охлажденного мясного и рыбного сырья, идущего на нужды Вооруженных сил РФ, военно-промышленного комплекса, космической отрасли. Внедрение подобных техно-

логий определяется возможностью включения в производственные циклы, конкурентоспособностью и экономической целесообразностью.

Распространение в РФ технологии обработки продовольственного сырья и пищевых продуктов с использованием ионизирующего излучения в целях снижения микробиологического загрязнения и продления сроков годности предопределяет необходимость формализации этого процесса в соответствии с разработанными стандартными технологическими инструкциями по облучению пищевого сырья (SOPs). Современные системы менеджмента качества (НАССР, Глобальная инициатива по безопасности пищевых продуктов, GMP – надлежащая производственная практика), нормативная база по применению и контролю процесса обработки ионизирующим излучением позволяют обеспечить необходимый контроль качества.

Открытие в 2017 г. первого в России специализированного центра услуг антимикробной обработки продуктов питания ускоренными электронами «Теклеор» на территории индустриального парка «Агропромышленный парк К-Агро» в Калужской области позволит на промышленной основе обрабатывать пищевое сырье ионизирующим излучением.

Для обработки предварительно упакованных или размещенных навалом продовольственного сырья и пищевых продуктов используются изотопные источники, испускающие гамма-лучи (радионуклиды ^{60}Co и ^{137}Cs), и технические источники – рентгеновские установки и ускорители электронов за счет контролируемого применения энергии от ионизирующего излучения радиоизотопов (^{60}Co и ^{137}Cs), рентгеновских лучей (≤ 5 МэВ) и электронного пучка (≤ 10 МэВ) – соответственно гамма-излучения, рентгеновского (тормозного) излучения и потоком ускоренных электронов. В США в виде исключения разрешено обрабатывать продукты питания тормозным излучением с энергией до 7,5 МэВ. Чем больше энергии электронов, тем лучше коэффициент конверсии электронного излучения в гамма-излучение. В последние годы изотопные источники заменяются на технические источники как наиболее удобные для встраивания в технологический цикл производства и переработки [467].

Исследования ВОЗ подтверждают, что обработка ионизирующим излучением продуктов питания при мощности дозы до 10 000 Зв (10 кГр) не влияет на их безопасность и пищевую ценность. Однако энергия рентгеновских лучей (5 МэВ) и мощность дозы рентгеновского излучения значительно больше, чем гамма-излучения [467]. Рентгеновские установки могут использоваться для контроля качества продукции (на наличие посторонних включений) и для стерилизации (уничтожения микроорганизмов). Электронно-лучевая и рентгеновская технологии используют электричество и поэтому относятся к интерактивным технологиям. Оборудование, которое генерирует электронные лучи и рентгеновские лучи, называют «линейными ускорителями».

Н. И. Санжарова и др. (2015 г.) доказали возможность использования установок небольшой мощности с различными режимами гамма-излучения для стерилизации продукции растительного и животного происхождения (пряности, сушеные и свежие овощи) [208]. Технологическая целесообразность применения технологии обработки ионизирующим излучением продовольственного сырья и пищевых продуктов, их преимущества и эффективность заключаются в увеличении сроков хранения (задерживается созревание и старение плодов, предупреждается прорастание зерновых и овощных культур), в ингибировании и уничтожении патогенной микрофлоры и сельскохозяйственных вредителей [467]. Такая технология обработки пищевых продуктов позволяет снизить затраты энергии и отличается относительно низкой себестоимостью. К преимуществу данной технологии также можно отнести ее экологичность (отсутствие негативного влияния на окружающую среду), длительное сохранение ценных качеств и свойств облученной продукции, технологичность процессов обработки [23]. Сочетание обычной и обработанной ионизирующим излучением космической пищи позволяет добиваться безопасности и продления сроков годности, необходимых при длительных полетах в космос [330].

Согласно прогнозу рынок обработанных ионизирующим излучением продовольственного сырья и пищевых продуктов к 2030 г. достигнет 10,9 млрд долл. При этом до 70 % центров по облучению продуктов питания расположены в США и Китае. Обработка ионизирующим излучением актуальна для тех продуктов питания,

которые нельзя пастеризовать путем термической обработки; для продукции, сроки хранения которой продлеваются за счет использования химических консервантов. Специалисты в области безопасности пищевых продуктов отмечают, что обработку пищевых продуктов ионизирующим излучением целесообразно проводить после их упаковки, чтобы предотвратить повторное загрязнение после облучения [429]. Ионизирующее излучение рекомендуется применять при хранении мяса, полуфабрикатов и кулинарных изделий из них, рыбы и других продуктов моря, пищевого картофеля, лука и корнеплодов в весенне-летние месяцы, скоропортящихся ягод и фруктов в период их транспортировки от производителя к потребителю, концентратов фруктовых соков и т. д. [386; 450; 451; 469].

1.2.1 Влияние ионизирующего излучения на микробиологическую безопасность пищевых продуктов

Общеизвестная информация о радиочувствительности микроорганизмов и дозах ионизирующих излучений, которые обеспечивают бактерицидный эффект и инактивацию разных видов микроорганизмов, впервые получена в 1950-х годах.

Исследованиями, проведенными Т. В. Быковченко и др., установлены летальные дозы при облучении чистых культур микроорганизмов ускоренными электронами на ускорителе УЭЛВ-10-10-С-70: для дрожжей – 7,5 кГр, молочнокислых бактерий – 7 кГр, спорообразующих бактерий – 3 кГр (более низкий показатель, чем при облучении собственно пищевого продукта). Радиоустойчивость молочнокислых бактерий составляет 0,8 кГр, дрожжей – 1 кГр. Выявлено, что при облучении ускоренными электронами в небольших дозах по сравнению с облучением на гамма-установке можно добиться значительного уменьшения концентрации микроорганизмов в продукте [20]. Грамотрицательные бактерии более чувствительны к ионизирующему излучению и могут быть инактивированы при дозах от 1 до 7 кГр. Дрожжи и плесневые грибы более устойчивы, чем неспорные бактерии;

грамотрицательные бактерии менее устойчивы, чем грамположительные; наиболее устойчивы споры [125; 211]. Таким образом, неспорообразующие бактерии могут быть использованы в качестве маркеров для оценки эффективности обработки ионизирующим излучением: для их инактивации требуется доза не менее 3 кГр.

Устойчивость микроорганизмов к ионизирующему излучению определяется различными факторами: присутствием кислорода в среде, степенью влажности, наличием органических веществ, которые могут оказывать радиопротекторное действие. Дозы ионизирующего излучения, вызывающие инактивацию микроорганизмов, достаточны для поражения многих паразитарных организмов [14].

Предложенные МАГАТЭ специальные термины – радисидация (4–6 кГр), радуризация (6–10 кГр) и радаппертизация (10–50 кГр) – характеризуют степень воздействия в зависимости от дозовых характеристик ионизирующего излучения (поглощенные дозы) на определенные микроорганизмы [529]. Технологии обработки пищевых продуктов ионизирующим излучением основаны на подавлении микробиальной обсемененности (радисидация, радуризация) либо радиационной стерилизации (радаппертизация) [319; 464; 530]. Радисидация и радуризация обеспечивают увеличение сроков годности за счет сокращения численности микроорганизмов, вызывающих порчу пищевых продуктов:

– доза 0,1–3 кГр обеспечивает инактивацию и (или) уничтожение отдельных патогенных микроорганизмов в пищевых продуктах животного и растительного происхождения;

– доза 0,5–3 кГр способствует уменьшению микробиологической обсемененности во фруктах, овощах, мясе и мясопродуктах; по другим данным – 3–4 кГр для свежих плодов и 6–8 кГр для мяса и мясопродуктов;

– доза 3–10 кГр приводит к инактивации неспорообразующих бактерий (*Salmonella*, *Campylobacter*, *Listeria*) в свежей и замороженной пищевой продукции; к снижению численности микроорганизмов в специях и других сушеных ингредиентах; к стерилизации и улучшению технологических свойств (повышение выхода сока в ягодах); к сокращению времени сушки овощей.

Радаппертизация позволяет получать микробиологически безопасные пищевые продукты (мясо, птица, рыба, морепродукты) с использованием тепловой инактивации и радиационной стерилизации после замораживания [208; 409; 492]. Однако высокие дозы в 40–50 кГр вызывают нежелательные изменения в самом продукте: изменяется цвет, появляется неприятный «привкус облучения», ухудшается консистенция и т. д.

Эффективность применения технологий, использующих ионизирующее излучение, для ингибирования роста микроорганизмов и уменьшения микробиологической обсемененности во многом определяется величиной поглощенной дозы. Обработка ионизирующим излучением значительно снижает количество вегетативных патогенных бактерий, таких как кампилобактерии (*Campylobacter*), кишечная палочка (*Escherichia coli*), листерия (*Listeria*), сальмонелла (*Salmonella*), стафилококк золотистый (*Staphylococcus aureus*), иерсиния энтероколитика (*Yersinia enterocolitica*). Гибель основной части бактерий рода сальмонелла происходит при дозах 0,2–1,2 кГр, полная гибель неспорообразующих микроорганизмов – при 0,25–2,5 кГр, а плесневых грибов – при 2–5 кГр. При гамма-облучении бактерий кишечной группы инактивация происходит при дозах от 0,24 до 1,68 кГр, гибель – при дозах около 3 кГр. Низкие дозы (0,25–0,5 кГр) подавляют рост мезофильных аэробных, факультативно анаэробных микроорганизмов, бактерий группы кишечной палочки, плесени и дрожжей [110]. Чем выше доза облучения, тем ниже значения микробиологических показателей.

Обработка мясопродуктов дозами ионизирующего излучения от 0,1 до 1 кГр на 90 % снижает численность колоний возбудителей кишечных инфекций (*Salmonella*, *Escherichia coli*, *Clostridium perfringens*, *Staphylococcus aureus*, *Listeria monocytogenes*, *Campylobacter jejuni*), возбудителя паразитарного заболевания человека и животных *Toxoplasma gondii*; полная инактивация патогенной микрофлоры наступает при дозе 7 кГр.

Обеспечение микробиологической безопасности особенно важно для контроля сальмонеллезной инфекции птиц [82]. Установлено, что инактивацию *S. saprophyticus* в фарше курицы обеспечивает тепловая обработка при температуре 55;

60 и 65 °С в течение 6,26; 0,60 и 0,09 мин соответственно; под высоким давлением 200; 300 или 400 МПа инактивация наступает через 15,5; 9,43 и 3,54 мин соответственно; при обработке гамма-излучением достаточно дозы 0,64–0,77 кГр либо дозы ультрафиолетового излучения (254 нм) от 14,9 до 18,5 МДж/см² [493]. Кампилобактерии (*Campylobacter*) вызывают у человека острую кишечную инфекцию патогены, источником которых являются сельскохозяйственные птицы и животные. Доза сокращения десятичных значений в курином мясе гомогената для кампилобактерий лежит в диапазоне 0,11–0,19 кГр. При дозе ионизирующего излучения 1 кГр можно добиться полной ликвидации $1 \cdot 10^5$ КОЕ кампилобактерий/г в пробах мяса птицы [474]. Использование низких доз (2 кГр) в сочетании с вакуумной упаковкой может свести к минимуму вредное воздействие на куриное филе грудки [465].

Устойчивость различных микроорганизмов к обработке ионизирующим излучением неодинакова. Для уничтожения простейших (микроорганизмов) требуется бóльшая доза облучения, чем для рыб, птиц и млекопитающих. Как правило, губительная доза облучения тем выше, чем ниже ступень развития организмов. При этом высокие дозы нередко оказывают разрушительное действие и на сами пищевые продукты, вызывая в них нежелательные изменения органолептических характеристик (вкус, запах, цвет, консистенция). В этом отношении особенно чувствительны к ионизирующему излучению мясо, молоко и получаемые из них продукты.

Исследования показали, что при обработке продуктов заниженной дозой стерилизация становится неэффективной, так как не уничтожаются грибки и болезнетворные микроорганизмы – сальмонелла, холерный вибрион и пр.

Необходимы более высокие дозы гамма-излучения для подавления низших микроорганизмов, которые высокоустойчивы к любым повреждающим действиям. Но при таких дозах образуются радиотоксины, которые при потреблении облученных продуктов способны имитировать действие ионизирующего излучения на организм человека. Выжившие микроорганизмы, особенно грибы, в результате мутагеназа приобретают еще более высокую устойчивость. Тем самым можно

спровоцировать появление штаммов патогенных микроорганизмов с высокой выживаемостью [65].

Некоторые из таких побочных эффектов можно частично нивелировать. Например, пищевые продукты можно обрабатывать при низких температурах вплоть до замораживания или использовать в облучательных системах так называемые ловители свободных радикалов. Можно сочетать обработку ионизирующим излучением с тепловой обработкой, при этом оптимальная доза облучения снижается. Наиболее перспективным является облучение в инертных газах, вакууме, при низких температурах и с применением антиокислителей.

Н. I. Yong и др. провели исследование радиационной чувствительности кишечной палочки (*Escherichia coli*) и листерии (*Listeria monocytogenes*) в пищевых мясных субпродуктах [533]. Облучение электронным пучком дозой 4 кГр привело к значительному сокращению числа патогенных микроорганизмов в мясных субпродуктах в аэробно- и вакуум-упакованных образцах. Для продления сроков хранения продуктов в развитых странах наряду с глубокой заморозкой применяется воздействие гамма-лучами или пучками ускоренных электронов. При этом сокращается рост микроорганизмов не только на поверхности, но и в массе замороженных продуктов, за счет чего потери пищевых продуктов уменьшаются на 10–15 % [7]. Доза свыше 4,5 кГр снижает микробиологическую обсемененность [206; 369; 381].

Возможность снижения микробиологической нагрузки при минимальном воздействии на органолептические показатели и пищевую ценность пищевых продуктов позволяет технологии обработки ионизирующим излучением занимать лидирующее место среди существующих способов, обеспечивающих сохранность продукции и продовольственного сырья [325].

1.2.2 Влияние ионизирующего излучения на химический состав пищевых продуктов

Изменения, происходящие после обработки пищевых продуктов ионизирующим излучением, могут носить как положительный (биопозитивный), так и отрицательный (бионегативный) характер. По мнению ученых и исследователей, с одной стороны, обработка ионизирующим излучением – это один из успешных и перспективных методов, позволяющий сохранить качественные характеристики при продлении сроков годности пищевых продуктов и сельскохозяйственного сырья. С другой стороны, в пищевых продуктах происходят определенные биологические процессы: свободные радикалы, возникающие в процессе обработки, взаимодействуя с другими молекулами в пищевой системе, приводят к изменению молекулярной структуры органических веществ [483]. Согласно выводам ВОЗ, потребление обработанной ионизирующим излучением пищи безопасно, пока она остается вкусной [366], но вместе с тем облучение может способствовать образованию свободных радикалов в пищевой продукции [65; 380]. Ионизирующее излучение, оказывая воздействие на изменение физико-химических свойств продуктов, может приводить к необратимым изменениям качества пищевых продуктов и продовольственного сырья, а также к трансформации органолептических свойств продуктов при использовании высоких доз (изменение цвета, консистенции, появление несвойственных свежим продуктам запахов).

Ионизирующее излучение может приводить к незначительным изменениям, и тогда образовавшиеся при облучении радиолитические продукты и свободные радикалы идентичны нутриентам после тепловой обработки и в процессе консервирования. Около 60 радиолитиков идентичны молекулам, получаемым в процессе тепловой обработки [380].

Обработка высокими дозами ионизирующего излучения может привести к изменениям в мясном сырье, что может вызывать появление неприятных привкусов [198]. Чем выше степень ненасыщенности жирных кислот, тем выше

чувствительность к окислению и, соответственно, к ионизирующему излучению [387]. Усиление окисления жира и уменьшение содержания липидов приводит к ухудшению органолептических показателей [458; 495], накоплению в продуктах перекисных соединений. Количество летучих веществ выше в обработанных дозой 5 кГр образцах говядины, свинины и мяса птицы по сравнению с необработанными образцами [436]. Результаты показали, что обработка ионизирующим излучением мяса приводит к снижению влагоемкости, выхода продукции, снижению жесткости мяса и, следовательно, к его ускоренному созреванию: так, обработка мяса дозой 2,5 кГр улучшает его текстуру и придает характерный мясной запах [419]. В то же время в ходе облучения не меняются органолептические свойства пищевых продуктов. Под воздействием ионизирующего излучения может происходить уменьшение или полное исчезновение полиненасыщенных кислот, которые обуславливают биологическую ценность жиров. Образовавшиеся циклобутаны при облучении жиров позволяют использовать их в качестве химических маркеров для определения факта обработки ионизирующим излучением [286].

Вода является катализатором в радиационных реакциях углеводов, которые, вступая в реакцию с гидроксильными радикалами, образуют кетоны, альдегиды, кислоты; глюкоза генерирует 34 радиолитических продукта [494]; крахмал распадается на декстрины, мальтозу и глюкозу. Облученный крахмал в водной системе образует сахара, альдегиды, кетоны, спирты, кислоты и пероксиды [352]. Углеводы в составе пищевых продуктов менее склонны к распаду, чем чистые углеводы.

Аминокислоты, минеральные вещества и микроэлементы претерпевают небольшие изменения при обработке ионизирующим излучением. При изучении аминокислотного состава белков мяса цыплят-бройлеров отмечено незначительное уменьшение суммы заменимых и незаменимых аминокислот. Так, количество заменимых аминокислот в мясе, обработанном дозами 6 и 30 кГр, в красных и белых мышцах уменьшается за счет снижения количества тирозина в среднем на 0,65 и 1,025 %, цистеина – на 0,93 и 1,97 % соответственно. При этом количество заменимых аминокислот уменьшается за счет снижения метионина при дозе 6 кГр – на

0,91 % и при 30 кГр – на 1,13 % [82]. Установлено, что при обработке дозой 0,1 кГр в пряностях повреждаются только 0,004 % аминокислот [467].

Изменение белкового компонента в процессе обработки ионизирующим излучением мяса птицы сопоставимо с изменениями при других технологиях обработки. Так, после термической обработки происходит снижение содержания белков в различных видах мышечной ткани мяса цыплят-бройлеров за счет перераспределения из белкового комплекса мышечной ткани экстрактивных веществ в бульон: в грудке – с 21,79 до 16,88 %, в голени – с 20,04 до 16,40 % [122]. В результате обработки мяса цыплят-бройлеров количество белка уменьшается при дозе 2,5 кГр на 6,5 %, при 6 кГр – на 8,4 %, при 30 кГр – на 13,7 % [6].

Можно отметить, что изменение витаминов при воздействии ионизирующего излучения аналогично изменениям, происходящим при сушке или консервировании. Среди жирорастворимых витаминов наиболее чувствительны к ионизирующему излучению витамины Е (α -токоферол) и А (ретинол); среди водорастворимых – В₁ (тиамин), С (аскорбиновая кислота) и провитамин А. Однако D. W. Thayer и соавторы отметили, что максимальные дозы облучения не оказали существенного влияния на содержание В₁ в свинине [500; 501]. Чувствительность витаминов к ионизирующему излучению уменьшается в следующей последовательности: для жирорастворимых – Е > А > D > К; для водорастворимых – В₁ > С > В₆ > В₂ > РР, В₉ и В₁₂ [358]. Выявлено, что содержание витамина В₁ при разных дозах уменьшается в большей мере в мышечной ткани, чем в печени (свинина, кура, говядина) [379]. Витамины сохраняются после обработки гораздо лучше, если находятся в пищевом продукте, а не в чистом виде. Радиоустойчивость разных витаминов неодинакова и зависит от химического состава продуктов.

Ферменты, присутствующие в пищевых продуктах, достаточно устойчивы к облучению. Повышение дозы приводит к увеличению производства карбонильных соединений. Пониженная температура мясного сырья снижает отрицательное воздействие ионизирующего излучения на запах и вкус [337].

Полученные результаты исследований показывают, что при применении ионизирующего излучения возможны изменения химического состава, которые сопоставимы с изменениями при других технологиях обработки.

Вопросами изучения антиоксидантной активности теоретического и практического характера занимаются разные исследователи [10; 14; 19; 124; 213; 309; 351; 405; 420; 486; 519], которые отмечают ценность антиоксидантов в питании человека. Антиоксиданты, являющиеся пребиотиками, оказывают благоприятное воздействие на организм за счет повышения биологической активности микрофлоры кишечника.

По мнению В. Halliwell и J. M. C. Gutteridge, антиоксидант – это любое вещество, которое, присутствуя в низких по сравнению с окисляемым субстратом концентрациях, существенно задерживает или ингибирует его окисление [396]. И. В. Николаев к основным классам природных антиоксидантов относит каротиноиды, тиолы, фенольные соединения и пептиды [145]. Антиоксидантная система мяса и мясопродуктов представлена ферментативной и неферментативной системами (пептиды, токоферолы, убихинон, фосфолипиды, минеральные вещества и др.). Как установили С. Н. Лебедева и С. Д. Жамсаранова, баранина наиболее богата водорастворимыми антиоксидантами, свинина – жирорастворимыми. Содержание антиоксидантов в зимний период ниже, чем в осенний [109]. Некоторые аминокислоты также обладают антиоксидантными свойствами, в частности гистидин и аланин [101]; при этом цистеин, гистидин и лизин оказывают сильное воздействие на электрохимическое восстановление кислорода [13]; редокс-активными по отношению пероксидному радикалу являются тирозин, триптофан и метионин [481]. К минеральным веществам – антиоксидантам относятся селен, цинк, кальций и марганец.

Пищевые продукты ценны как непосредственно источник антиоксидантов, так и с точки зрения обогащения антиоксидантами тех пищевых продуктов, которые отличаются изначально низким содержанием антиоксидантов, а также, что наиболее ценно по нашему мнению, для замедления свободнорадикальных процессов,

происходящих в пищевых продуктах в процессе хранения и (или) при технологической переработке пищевого сырья.

Согласно исследованиям Х. Т. Fan, факт обработки ионизирующим излучением готовых к употреблению мясных продуктов возможно контролировать с помощью антиоксидантов по окислению липидов и летучим соединениям серы [371]. Установлена зависимость содержания антиоксидантов от сорта и условий/мест произрастания сельскохозяйственных растений, породности и условий содержания/кормления, индивидуальных физиологических особенностей организма животных, в результате чего соотношение антиоксидантов очень индивидуально для каждого отдельно взятого плода, овоща или куска мяса. Необходимость проведения дальнейших исследований в этом направлении очевидна.

Таким образом, обработка ионизирующим излучением сельскохозяйственной и пищевой продукции как эффективная мера обеспечения ее безопасности и высокого качества позволяет достичь продовольственной безопасности на государственном уровне. Наше общество прагматично, и внедрение технологий, способствующих сохранению пищевых ресурсов, определяется получаемым социальным и экономическим эффектом. Отечественные и зарубежные ученые продолжают исследования по установлению причинно-следственных связей между дозой облучения и пищевой ценностью. Механизмы трансформации пищевых нутриентов, в частности белка и жира, под воздействием ионизирующего излучения еще недостаточно изучены и нуждаются в дальнейших исследованиях. Вопросы сбалансированности аминокислотного состава белка также недостаточно исследованы, в основном изучается аминокислотный состав, белковый качественный показатель и аминокислотный скор. Для установления влияния ионизирующего излучения на качественные показатели сбалансированности аминокислотного состава необходимы комплексные исследования с целью определения оптимальных доз.

Преимущества обработки ионизирующим излучением – простота и универсальность, безотходность и экологическая безопасность, высокое качество получаемых продуктов и экономическая выгода [307].

Таким образом, в результате многочисленных исследований не установлено, что при обработке ионизирующим излучением существенно изменяется пищевая ценность продуктов и возникают токсичные или канцерогенные вещества. Питательные свойства продуктов при облучении ухудшаются не более, чем при обычной тепловой стерилизации, обработке холодом или в процессе хранения.

1.3 Международная и отечественная нормативная база в области обработки пищевой продукции ионизирующим излучением

На основании многочисленных исследований за рубежом разработан комплекс нормативной документации, регламентирующей процесс обработки ионизирующим излучением, его контроль, а также контроль облученной продукции. основополагающим документом является «Кодекс Алиментариус» (Пищевой кодекс) – свод международных пищевых стандартов, принятых Международной комиссией FAO/ВОЗ. Для нормативного регулирования облучения пищевых ресурсов применяются «Рекомендуемые международные технические нормы и правила, касающиеся облучения пищевых продуктов» (CAC/RCP 19-1979, rev. 2-2003) и «Общий стандарт на пищевые продукты, обработанные ионизирующим излучением» (CODEX STAN 106-1983, rev. 1-2003), объединенные в свод «Кодекс Алиментариус. Обработанные продукты питания» [90].

Цели нормативного регулирования пищевых продуктов, обработанных ионизирующим излучением, направлены на обеспечение безопасности процесса облучения, формирование системы сопроводительной документации; соответствие обработанной продукции при поступлении в международную торговлю допустимым нормам облучения и наличие правильной маркировки. Согласно Международным рекомендуемым техническим нормам и правилам осуществляется контроль «содержания патогенных микроорганизмов, снижения микробальной

обсемененности и зараженности насекомыми, подавления прорастания корнеплодов и увеличения сроков годности скоропортящихся продуктов» [199].

«Кодекс Алиментариус. Облученные продукты питания. Общий стандарт на пищевые продукты, обработанные ионизирующим излучением» определяет требования к дозе поглощенного ионизирующего излучения: «Максимальная доза поглощенного излучения не должна превышать 10 кГр, кроме тех случаев, когда это необходимо для получения приемлемого результата технологического процесса»; технические требования, включающие указание, что «облучение пищевых продуктов обосновано, только если оно удовлетворяет технологическим требованиям и/или направлено на защиту здоровья потребителя, оно не должно быть использовано как замена необходимым санитарно-гигиеническим условиям производства или выращивания»; контроль после облучения и вопросы маркировки с обязательной фиксацией факта облучения в сопроводительных документах и рядом с названием товара посредством размещения международного знака и слов «облучено» либо «обработано ионизирующим излучением» [150].

Национальные стандарты Российской Федерации, регламентирующие процессный подход к облучению продовольственного сырья и пищевых продуктов, разработаны с учетом нормативных положений аналогичных международных документов и идентичны зарубежным стандартам (американским ASTM или европейским EN). основополагающим документом в нашей стране является ГОСТ ISO 14470-2014 «Радиационная обработка пищевых продуктов. Требования к разработке, валидации и повседневному контролю процесса облучения пищевых продуктов ионизирующим излучением» (дата введения – 1 января 2016 г.), идентичный международному стандарту ISO 14470:2011 «Радиационная обработка пищевых продуктов. Требования к разработке, валидации и повседневному контролю процесса облучения пищевых продуктов ионизирующим излучением» (Food irradiation – Requirements for the development, validation and routine control of the process of irradiation using ionizing radiation for the treatment of food – First edition). Положения стандарта согласованы с требованиями, предъявляемыми комиссией «Codex Alimentarius Commission» в соответствии с «Кодекс Алиментариус. Облученные

продукты питания». При этом «требования стандарта являются минимально необходимыми для контроля процесса облучения пищевых продуктов» и регламентируют только производственный процесс для обеспечения безопасности и качества облучаемых пищевых продуктов. Описание процедуры повседневного мониторинга и контроля в части требований к маркировке включает в себя изображение международного логотипа для пищевых продуктов, обработанных ионизирующим излучением, – специального знака «Радура» (рисунок 1) и содержит общую фразу «к маркировке обработанных пищевых продуктов должны применяться соответствующие национальные и международные требования», без уточнения конкретных требований по странам, на которые распространяется действие стандарта.



Рисунок 1 – Стандартный знак продуктов, обработанных ионизирующим излучением

В ГОСТ ISO 14470-2014 также зафиксированы требования к отпуску продукции после обработки ионизирующим излучением и поддержке эффективности процесса облучения [57]. По нашему мнению, вопросы идентификации и дозиметрии требуют расширенного толкования с учетом важности установления величины поглощенных доз и методологии ее определения с учетом принятых специализированных Руководств по дозиметрии при обработке гамма-излучением, электронными пучками и рентгеновским (тормозным) излучением [45; 46; 49; 50; 52; 53; 54].

ГОСТ 33339-2015 «Радиационная обработка пищевых продуктов. Основные технические требования» (дата введения – 1 января 2017 г.) в целом соответствует международному документу САС/RCP 19-1979 «Рекомендуемые международные технические нормы и правила, касающиеся облучения пищевых продуктов», но не является точным его переводом. В то же время имеется важное различие в названии

термина при одинаковой его расшифровке: в п. 2.5 в САС/RCP 19-1979 – равномерность распределения дозы, в ГОСТ ISO 14470-2014 – коэффициент неравномерности дозы. В ГОСТ ISO 14470-2014 термины приведены на русском и английском языках [47; 57].

Группа стандартов по облучению определенных групп продуктов принята с учетом основных положений американских стандартов. В России разрешено облучать следующую пищевую продукцию:

– пряности, травы и приправы овощные согласно ГОСТ 33271-2015 «Пряности сухие, травы и приправы овощные. Руководство по облучению в целях борьбы с патогенными и другими микроорганизмами», устанавливающему диапазоны минимальных доз для 19 видов пряностей (дата введения – 1 января 2017 г.) и идентичному ASTM F1885-04 «Руководство по облучению пряностей, трав и овощных приправ в целях борьбы с патогенными и другими микроорганизмами» (Standard guide for irradiation of dried spices, herbs and vegetable seasonings to control pathogens and other microorganisms). Стандарт определяет область применения для обработки ионизирующим излучением сухих пряностей, трав и овощных приправ в целях снижения показателей микробиологического загрязнения с содержанием влаги в этих продуктах от 4,5 до 12 %, представленных в целом, молотом, рубленом виде или других мелкодробленых формах, а также в виде смесей. В настоящем стандарте рассматриваются поглощенные дозы от 3 до 30 кГр. С нашей точки зрения, диапазон поглощенных доз необходимо рассматривать с 0,1 кГр. В примечании к п. 1.2 стандарта представлена информация о том, что «максимальная доза, разрешенная к использованию стандартами США, составляет 30 кГр. Предлагаемый примерный перечень пряностей с минимальными дозами необходимо расширить с учетом применяемых пряностей на территории РФ для возможности выбора оптимальных доз облучения производителями пряностей согласно п. 6.3.3 [45; 326];

– продукция сельскохозяйственная свежая согласно ГОСТ 33302-2015 «Продукция сельскохозяйственная свежая. Руководство по облучению в целях фитосанитарной обработки» (дата введения – 1 января 2017 г.), который содержит список биологических видов вредителей, имеющих карантинное значение, и идентичен

ASTM F1355-06 «Руководство по облучению свежей сельскохозяйственной продукции в целях фитосанитарной обработки» (Standard guide for irradiation of fresh agricultural produce as a phytosanitary treatment). Область применения охватывает свежие сельскохозяйственные продукты, таких как плоды, овощи и срезанные цветы. Пункт 3.1 стандарта гласит: «Цель радиационной обработки – минимизация риска заражения вредителями и обеспечение максимальной безопасности при транспортировании и использовании свежей сельскохозяйственной продукции». По нашему мнению, возможно дополнить этот пункт следующим образом: «...при транспортировании, хранении и использовании...». Кроме того, предлагаемый перечень «Некоторые биологические виды, имеющие карантинное значение» не адаптирован для России и стран СНГ [46].

В ГОСТ 33271-2015 и ГОСТ 33302-2015 отсутствует информация согласно Пищевому кодексу о максимально возможной поглощенной дозе 10 кГр, а также не приведена информация о предельной поглощенной дозе для пищевых продуктов, обработанных ионизирующим излучением. С нашей точки зрения, эти стандарты не в полной мере адаптированы для использования в России: необходимо ввести в раздел «Термины и определения» показатель «доза облучения», которая является технологическим параметром при осуществлении процесса облучения, а показатель «поглощенная доза» отражает результат воздействия ионизирующего излучения на пищевой продукт после процесса облучения. Вопросы картирования вызывают сомнения, так как применяемые индикаторы показывают поглощенную дозу для индикатора, а поглощенная доза продукта в силу разных физико-химических характеристик и неоднородности структуры может отличаться от полученных данных для индикатора. Кроме того, в этих стандартах не приведена информация об обязательности маркировки для нашей страны;

– мясо и мясопродукты согласно ГОСТ 33820-2016 «Мясо свежее и мороженое. Руководство по облучению для уничтожения паразитов, патогенных и иных микроорганизмов» (дата введения – 1 января 2017 г.), идентичному ASTM F1356-08 «Мясо и мясо птицы свежее и мороженое. Руководство по облучению для уничтожения патогенных и иных микроорганизмов» (Standard practice for irradiation of

fresh and frozen red meat and poultry to control pathogens and other microorganisms), и ГОСТ 33825-2016 «Полуфабрикаты из мяса упакованные. Руководство по облучению для уничтожения паразитов, патогенных и иных микроорганизмов» (дата введения – 1 января 2017 г.), идентичному ASTM E2449-05 «Руководство по облучению фасованных полуфабрикатов мяса и мяса птицы для уничтожения патогенных и иных микроорганизмов» (Standard guide for irradiation of pre-packaged processed meat and poultry products to control pathogens and other microorganisms). В указанных нормативных документах представлена информация о технологии обработки ионизирующим излучением и установлен регламент до и после процедуры облучения.

Область применения ГОСТ 33820-2016 распространяется на свежее и замороженное мясо, которое прошло ветеринарно-санитарную экспертизу и соответствует действующим санитарно-гигиеническим требованиям, кроме мяса птицы, кролика и конины, в целях уничтожения или уменьшения количества вегетативных патогенных микроорганизмов и паразитов, а также продления срока хранения облученных продуктов путем уменьшения количества вегетативных микроорганизмов, вызывающих порчу, после обработки ионизирующим излучением. Мясо может быть фасованным и нефасованным. Согласно разд. 4 «Критерии оценки эффективности облучения» оценка эффективности радиационной обработки заключается в бактериологическом исследовании продукта до облучения и сразу после него. Вопросы картирования в п. 7.4.2 переадресованы к ASTM E2303, что является нелогичным и некорректным. Целесообразно ввести дополнительно в область применения термин «охлажденное мясо». В зарубежном стандарте ASTM F1356-08 область применения распространяется и на мясо птицы, и на любое красное мясо без ограничения, в отличие от ГОСТ 33820-2016 [49].

Область применения ГОСТ 33825-2016 охватывает охлажденные и замороженные полуфабрикаты из мяса, кроме мяса птицы, кролика и конины, в целях уничтожения или уменьшения количества патогенных микроорганизмов и вызывающих порчу паразитов, которые присутствуют в переработанном мясе. Критерии эффективности такой обработки рассматриваются с точки зрения ограничения

количества паразитов и вызывающих порчу микроорганизмов. В п. 6.4.2 стандарта со ссылкой на приложение А приведены поглощенные дозы, необходимые для ограничения количества патогенных бактерий. В то же время согласно п. 6.4.3 и 6.4.4 поглощенные дозы, необходимые для подавления активности паразитов, и поглощенные дозы, необходимые для продления срока хранения, не приведены, и стандарт переадресовывает к ASTM 51431, CX STAN 106-1983, а также к ряду исследований, перечисленных в библиографии, что является, с нашей точки зрения, нелогичным и некорректным. Вопросы повседневной производственной дозиметрии согласно п. 6.5 также переадресованы к ASTM 51431, CX STAN 106-1983, ASTM E 2232 и ASTM E2303. В зарубежном стандарте ASTM E2449-05 область применения распространяется и на мясо птицы, и на любое красное мясо без ограничения, в отличие от ГОСТ 33825-2016 [50].

В отличие от ГОСТ 33271-2015 и ГОСТ 33302-2015, в ГОСТ 33920-2016 и ГОСТ 33825-2016 приведена информация о величине поглощенной дозы ионизирующего излучения, которую используют для подавления активности паразитов и уменьшения количества микроорганизмов (менее 10 кГр), и не приведена информация об обязательности маркировки для нашей страны. С нашей точки зрения, необходимо ввести в разд. 2 «Термины и определения» показатель «доза облучения», которая является технологическим параметром при осуществлении процесса облучения, тогда как показатель «поглощенная доза» отражает результат воздействия ионизирующего излучения на пищевой продукт после процесса облучения.

Потребители имеют право на употребление как обработанной ионизирующим излучением, так и необработанной пищи. Согласно требованиям вышеприведенных стандартов, вопросы маркировки облученных пищевых продуктов приведены в качестве ознакомления, в них не уточняются требования к маркировке обработанной ионизирующим излучением продукции, применяемой на территории РФ. Маркировка пищевых продуктов является основным средством общения между производителем и продавцом пищевых продуктов, с одной стороны, и покупателем и потребителем, с другой стороны, согласно «Кодекс Алиментариус. Маркировка пищевых продуктов» [88].

В ГОСТ 33800-2016 «Продукция пищевая облученная. Общие требования к маркировке» (дата введения – 1 июля 2017 г.) частично учтены требования к маркировке обработанной пищевой продукции, представленные в международных нормативных документах: CODEX STAN 1-1985 (rev. 1-1991) «Общий стандарт на маркировку предварительно упакованных пищевых продуктов» (General standard for the labeling of prepackaged foods) [149], который включен в общий свод «Кодекс Алиментариус. Маркировка пищевых продуктов» [88]; ASTM F1640-09 «Руководство по выбору и использованию упаковочных материалов для пищевых продуктов, подлежащих облучению» (Standard guide for selection and use of packaging materials for foods to be irradiated). В п. 3.1 CODEX STAN 1-1985 отмечено, что «не допускается такое описание или представление расфасованного пищевого продукта на любой этикетке или в любой маркировке, которое является неверным, вводит в заблуждение или является обманом или может создать ложное впечатление о характере продукта в любом отношении». Данный пункт является основополагающим, и его целесообразно включить в ГОСТ 33800-2016. Хотя символ облученного продукта «Radura» является добровольным, для нашей страны было бы целесообразно ввести его как обязательный элемент [48]. В ТР ТС 022/2011 «Пищевая продукция в части ее маркировки», в отличие от ГОСТ 33800-2016, отсутствуют требования к упаковке пищевых продуктов, обработанных ионизирующим излучением, что приводит к разным требованиям к ее маркировке.

С 1 февраля 2019 г. вступил в действие ГОСТ 34154-2017 «Руководство по облучению рыбы и морепродуктов с целью подавления патогенных и вызывающих порчу микроорганизмов», идентичный ASTM F1736-09 «Руководство по облучению рыбы и морепродуктов с целью подавления патогенных и вызывающих порчу микроорганизмов» (Standard guide for irradiation of fish and aquatic invertebrates used as food to control pathogens and spoilage microorganisms). Область применения ГОСТ 34154-2017 определена применением ионизирующего излучения для сырых, необработанных, свежих (охлажденных) или замороженных плавниковых рыб и водных беспозвоночных в целях уничтожения или сокращения количества патогенных микроорганизмов и паразитов, а также в целях сокращения количества

микроорганизмов, вызывающих порчу плавниковых рыб и водных беспозвоночных. В отличие от ГОСТ 33271-2015 и ГОСТ 33302-2015, в данном стандарте приведена информация о разных поглощенных дозах ионизирующего излучения, а критерии эффективности определены исходя из целей облучения: борьба с патогенными бактериями, подавление активности паразитов, сокращение микроорганизмов, вызывающих порчу, продление срока хранения продукта. С нашей точки зрения, необходимо ввести в разд. 2 «Термины и определения» показатель «доза облучения», который является технологическим параметром при осуществлении процесса облучения, в то время как показатель «поглощенная доза» отражает результат воздействия ионизирующего излучения на пищевой продукт после процесса облучения. Отсутствует информация об обязательности маркировки для нашей страны. Вопросы дозиметрии для определения поглощенной дозы приведены в примечаниях к п. 7.4 со ссылкой только на зарубежные стандарты ISO ASTM 51204, ISO ASTM 51431 и ISO ASTM 51261, что является, с нашей точки зрения, нелогичным и некорректным. В стандарте отсутствует информация об оптимальных дозах облучения и оптимальных поглощенных дозах [52].

Исследование нормативной документации показало, что ее разработчики в ряде случаев трактуют по-разному дозу облучения и поглощенную дозу. ГОСТ ISO 14470-2014 «Радиационная обработка пищевых продуктов. Требования к разработке, валидации и повседневному контролю процесса облучения пищевых продуктов ионизирующим излучением» и ГОСТ 33339-2015 «Радиационная обработка пищевых продуктов. Основные технические требования» разделяют эти понятия: доза облучения – это доза воздействия на продукт, а поглощенная доза – доза, поглощенная продуктом. В стандартах, входящих в группу по облучению определенных видов пищевого сырья (ГОСТ 33302-2015, ГОСТ 33271-2015, ГОСТ 33820-2016, ГОСТ 33825-2016 и ГОСТ 34154-2017), термин «поглощенная доза» (absorbed dose) расшифровывается как количество энергии ионизирующего излучения, передаваемое (переданное) единице массы конкретного вещества. Считаем это не вполне корректным, так как рассматриваемые понятия сливаются, что недопустимо, а кроме того, не соответствует положениям «Кодекс Алиментариус», где

сказано, что поглощенная доза – это количество энергии, поглощенное на единицу массы обработанного продукта. Фактически в вышеуказанных стандартах приводится определение термина «доза», поэтому применяемые термины не соответствуют их сущности.

В отдельную группу стандартов выделяются *стандарты, позволяющие осуществлять контроль процесса облучения, т. е. дозиметрию.*

ГОСТ 34156-2017 «Руководство по дозиметрии при обработке пищевых продуктов гамма-излучением» (дата введения – 1 февраля 2019 г.) согласно п. 5 соответствует ГОСТ Р ИСО/АСТМ 51204-2012 «Руководство по дозиметрии при обработке пищевых продуктов гамма-излучением» (дата введения – 1 января 2014 г.), который, в свою очередь, согласно п. 4 идентичен международному стандарту ISO/ASTM 51204:2004 «Руководство по дозиметрии при обработке пищевых продуктов гамма-излучением» (Practice for dosimetry in gamma irradiation facilities for food processing). Стандарт содержит описание программы оценки качества монтажа облучателя и дозиметрические процедуры, которые следует выполнять при оценке операционного качества, оценке эксплуатационных характеристик и повседневной эксплуатации установок для обработки пищевых продуктов ионизирующим излучением радионуклидных γ -источников, чтобы гарантировать, что данный продукт получил заранее определенную поглощенную дозу радиации. В стандарте приводится много ссылок на зарубежные публикации [54].

ГОСТ Р ИСО/АСТМ 51431-2012 «Руководство по дозиметрии при обработке пищевых продуктов электронными пучками и рентгеновским (тормозным) излучением» (дата введения – 1 января 2014 г.) согласно п. 4 идентичен международному стандарту ISO/ASTM 51431:2005 «Руководство по дозиметрии при обработке пищевых продуктов электронными пучками и рентгеновским (тормозным) излучением» (Practice for dosimetry in electron beam and X-ray (bremsstrahlung) irradiation facilities for food processing). Стандарт содержит описание программы оценки качества монтажа облучателя и дозиметрических методик, которые следует использовать при оценке операционного, технологического качества и в процессах повседневной эксплуатации установок, применяемых при обработке пищевых продуктов

пучками высокоэнергетических электронов и рентгеновским (тормозным) излучением, в целях обеспечения гарантии, что продукты были обработаны с соблюдением заданного диапазона поглощенных. В стандарте приводится много ссылок на зарубежные публикации [56].

ГОСТ 34155-2017 «Руководство по дозиметрии при исследовании влияния радиации на пищевые и сельскохозяйственные продукты» (дата введения – 1 февраля 2019 г.) согласно п. 5 соответствует ГОСТ Р ИСО/АСТМ 51900-2013 «Руководство по дозиметрии при исследовании влияния радиации на пищевые и сельскохозяйственные продукты» (дата введения 1 июля 2014 г.), который, в свою очередь, согласно п. 4 идентичен международному стандарту ISO/ASTM 51900:2009 «Руководство по дозиметрии при исследовании влияния радиации на пищевые и сельскохозяйственные продукты» (Guide for dosimetry in radiation research on food and agricultural products). Стандарт содержит минимальные требования по дозиметрии, необходимой при проведении исследований по влиянию радиации на пищевые и сельскохозяйственные продукты. Такие исследования включают в себя установление количественной зависимости между поглощенной дозой и соответствующими эффектами в указанных продуктах при обработке следующими видами ионизирующей радиации: гамма-излучение, рентгеновское (тормозное) излучение и электронные пучки [53].

Руководства по дозиметрии (ГОСТ 34156-2017, ГОСТ Р ИСО/АСТМ 51431-2012, ГОСТ 34155-2017) определяют полный цикл технологических вопросов по дозиметрии, дают примеры рабочих дозиметров, в том числе ЭПР-спектрометра. Установлено, что поглощенная доза зависит от ряда факторов (скорость конвейера, ток пучка, энергия пучка, ширина сканирования) и непосредственно от продукта (температура, тип продукта, его размеры и плотность), параметров внешней среды. В то же время измерение поглощенной дозы происходит с помощью дозиметров, расположенных в определенных местах технологической загрузки (либо внутри, либо на ее поверхности), поэтому можно сказать, что осуществляется дозиметрия собственно дозиметрических систем и определение поверхностной дозы,

а не поглощенной дозы пищевых продуктов с их физико-химической и структурной неоднородностью и плотностью.

Следующая группа стандартов – *стандарты, позволяющие осуществлять контроль облученных пищевых продуктов*. «Кодекс Алиментариус. Методы анализа и отбора проб» [89] включает в себя стандарт «Общие методы Кодекса для определения облученных пищевых продуктов (CODEX STAN 231-2001, rev. 1-2003) [148], в котором перечислены международные стандарты, позволяющие идентифицировать обработанную ионизирующим излучением пищевую продукцию разными методами. В настоящее время по ряду приведенных стандартов были выпущены более поздние издания, полный список которых приведен в п. 1.3 диссертационного исследования. CODEX STAN 231-2001 включает утвержденные ранее стандарты, тогда как имеются и более актуальные версии: EN 1784-1996 (более поздний вариант стандарта – EN 1784-2003); EN 1785-1996 (при этом есть EN 1785-2003); EN 1786-1996 (более поздняя версия – EN 1786-1997 [71]); EN 1787-2000 [72]; EN 1788-2001; EN 13751-2002; EN 13708-2001 (при этом есть EN 13708-2002 [70]); EN 13783-2001 (при этом есть EN 13783-2002); EN 13784-2001 (при этом есть EN 13784-2002 [148]). В России введены в действие аналоги только по методу ЭПР: ГОСТ Р 52529-2006 «Мясо и мясные продукты. Метод электронного парамагнитного резонанса для выявления радиационно-обработанных мяса и мясопродуктов, содержащих костную ткань» (дата введения – 1 января 2007 г.), ГОСТ 31652-2012 «Пищевые продукты. Метод электронного парамагнитного резонанса для выявления радиационно-обработанных продуктов, содержащих кристаллический сахар» (дата введения – 1 июля 2013 г.), ГОСТ 31672-2012 «Пищевые продукты. Метод электронного парамагнитного резонанса для выявления радиационно-обработанных продуктов, содержащих целлюлозу» (дата введения – 1 июля 2013 г.).

С 1 июля 2018 г. введен в действие ГОСТ 34131-2017 «Мясо и мясные продукты. Метод обнаружения облученных продуктов газовой хроматографией», основанный на обнаружении 2-алкилциклобутанолов, образующихся в результате воздействия ионизирующего излучения на мясо и мясные продукты. Настоящий стандарт распространяется на мясо, включая мясо птицы, субпродукты, мясные

и мясосодержащие продукты. В то же время методика не позволяет определять поглощенные дозы ионизирующего излучения [51].

Однако в нормативно-технической документации, регламентирующей показатели безопасности и качества пищевой продукции (ГОСТ, технические регламенты), отсутствуют требования к пищевой продукции, обработанной ионизирующим излучением. В законодательную базу РФ не внесены изменения, регламентирующие безопасность пищевой продукции, в том числе обработанной ионизирующим излучением (Закон РФ от 7 февраля 1992 г. № 2300-1 «О защите прав потребителей», Федеральный закон от 2 января 2000 г. № 29-ФЗ «О качестве и безопасности пищевых продуктов», Доктрина «О продовольственной безопасности Российской Федерации»). В то же время согласно Федеральному закону от 9 января 1996 г. № 3-ФЗ «О радиационной безопасности населения» продовольственное сырье, пищевые продукты, питьевая вода должны отвечать требованиям к обеспечению радиационной безопасности.

Таким образом, аналитический обзор международной и отечественной нормативной базы в области обработки ионизирующим излучением пищевого сырья и продовольственных продуктов позволяет сделать вывод, что отечественная нормативная база в целом опирается на международные стандарты и идентична им, стандарты частично носят описательный характер, имеются неточности в терминологии, не учитывается накопленный исследовательский материал, в ряде случаев стандарты используют несовершенные методики визуализации полученных сигналов ЭПР. В России формируется комплекс нормативно-законодательных актов, регламентирующих процедурный подход к применению технологий, основанных на воздействии ионизирующего излучения, для продовольственного сырья и пищевых продуктов, которые необходимо адаптировать к условиям российского рынка. Для разработки современных регламентов и методик необходимо дальнейшее проведение исследовательских работ.

1.4 Современные методы идентификации продовольственного сырья и пищевых продуктов, обработанных ионизирующим излучением

Применение технологий, основанных на воздействии ионизирующего излучения, для биологических объектов с точки зрения безопасности для человека определяет необходимость установления факта облучения и дозовой нагрузки, т. е. количественное измерение поглощенной дозы. К наиболее известным методам измерения поглощенной энергии в плотных средах относятся: фотографический (по степени почернения фотопленки), сцинтилляционный (при регистрации световых вспышек, испускаемых возбужденными атомами и молекулами), химический (чаще всего для водных растворов по реакции превращения двухвалентного железа в трехвалентное), люминесцентный (за счет появления скрытых центров свечения, определяемых при световом (фотолюминесценция) или тепловой (термолюминесценция) воздействии на облученные вещества), радиолюминесцентный (под воздействием α -, β - и γ -излучений), колориметрический (за счет преобразования энергии излучения в тепловую), ионизационный и др. [31; 190]. Также могут использоваться непрямые методы, основанные на свойствах конкретных радикалов: гидроксидный радикал (OH^\cdot) определяют, используя спектрофотометрическую, хроматографическую и флуоресцентную регистрацию продуктов реакций окисления и гидроксирования [12], или по способности образовывать гидроксированные производные ароматических молекул методом ВЭЖХ [375], или на основе использования терефталевой кислоты [342], или по оценке содержания металлов Fe^{2+} и Cu^+ [12; 292]; супероксид-анион ($\text{O}_2^{\cdot-}$) – по восстановлению нитросинего тетразолия супероксид-анионами до формазана [75]. Для контроля и предоставления свободного выбора потребителям пищевой продукции, обработанной либо не обработанной ионизирующим излучением, необходимы чувствительные аналитические методы для выявления дозы облучения [483]. Облученные продукты можно идентифицировать по степени изменения активности ферментов, чувствительных к облучению. При содержании в продуктах питания значительного количества воды в результате

радиолиза образуются гидроксильные радикалы и гидратированные ионы. Гидроксильные радикалы, реагируя с ароматическими аминокислотами, образуют гидроксильные продукты, которые могут быть биометчиками. Так, в мясе биометчиком может служить продукт гидроксильного фенилаланин-2-оксифенилаланин, количество которого увеличивается с ростом дозы облучения. Возможно определение остаточного содержания тиамин в качестве показателя облучения мяса, рыбы, птицы [515].

В основе исследований лежат основные методы дозиметрии ионизирующих излучений для измерения поглощенной энергии излучения обработанной среды, базирующиеся на физических явлениях. При определении поглощенной дозы при обработке ионизирующим излучением необходимо учитывать следующее: пищевые продукты животного и растительного происхождения неоднородны не только внутри каждого вида, но и в каждом отдельно взятом биологическом объекте; они находятся в разных физических/агрегатных состояниях (сухая, влажная, твердая, аморфная, жидкая среды), отличаются разной плотностью и другими органолептическими и физико-химическими характеристиками. Для идентификации пищевых продуктов, обработанных ионизирующим излучением, за рубежом применяются различные методы, такие как газовая хроматография (EN 1784-2003 «Продукты пищевые. Обнаружение облученных продуктов, содержащих жир. Газохроматографический анализ углеводов»), спектрофотометрия (EN 1785-2003 «Продукты пищевые. Обнаружение облученных продуктов, содержащих жир. Газохроматографический/масс-спектрометрический анализ 2-алкилциклобутанов»), термолюминесценция (EN 1788-2001 «Продукты пищевые. Обнаружение методом термолюминесценции облученных продуктов, из которых можно извлечь силикатные минеральные вещества»), фотостимулированная люминесценция (EN 13751-2009 «Продукты питания. Определение облученной продукции, используя фотостимулирующую люминесценцию»), флуоресценция (EN 13783-2002 «Пищевые продукты. Определение облученных продуктов с использованием техники прямого флуоресцентного фильтра/аэробный чашечный подсчет (DEFT/APC). Ситовой анализ»), кометный метод (EN 13784-2002 «Пищевые продукты. Кометный анализ (оценка

повреждения ДНК) для обнаружения облученных продуктов. Ситовой анализ») и метод электронного парамагнитного резонанса (EN 1786-1997 «Продукты пищевые. Обнаружение облученных продуктов, содержащих кости. Спектроскопический метод ESR (резонансная парамагнитная электроника)», EN 1787-2000 «Продукты питания – детектирование облученных продуктов питания, содержащих целлюлозу, методом ЭПР-спектроскопии», EN 13708-2002 «Пищевые продукты. Обнаружение облученных продуктов, содержащих кристаллический сахар, посредством ЭПР-спектроскопии» [89].

Контроль за соблюдением технологии обработки ионизирующим излучением зависит от возможности измерить поглощенную дозу в каждой точке пищевого продукта и во всей партии продукции. Имеются различные дозиметрические/технические методики для дозиметрии, применимые к радионуклидным источникам и ускорителям и предназначенные для измерения поглощенной дозы количественным способом. Калибровка дозиметрической системы, используемой при облучении, должна обладать свойством прослеживаемости согласно национальным и международным стандартам. Дозиметрическая система состоит из дозиметров, измерительных приборов и соответствующих эталонов для сравнения [47; 199].

Формирование методологической базы для оценки соответствия показателей качества пищевой продукции в области ее потребительских свойств и аутентичности в соответствии со «Стратегией повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 г.» определяет необходимость идентификации способов обработки пищевой продукции (в частности, ионизирующим излучением) и разработки высокоспецифических методов их определения. В России действуют стандарты, основанные на идентификации такой продукции методом электронного парамагнитного резонанса: ГОСТ Р 52529-2006 «Мясо и мясные продукты. Метод электронного парамагнитного резонанса для выявления радиационно-обработанных мяса и мясопродуктов, содержащих костную ткань»; ГОСТ 31672-2012 «Пищевые продукты. Метод электронного парамагнитного резонанса для выявления радиационно-обработанных продуктов, содержащих целлюлозу»; ГОСТ 31652-2012 «Пищевые продукты. Метод электронного парамагнитного резонанса для

выявления радиационно-обработанных продуктов, содержащих кристаллический сахар». С 1 июля 2018 г. введен в действие ГОСТ 34131-2017 «Мясо и мясные продукты. Метод обнаружения облученных продуктов газовой хроматографией».

1.4.1 Метод электронного парамагнитного резонанса

Распространение технологий, основанных на воздействии ионизирующим излучением, требует кардинального изменения подходов к исследованию безопасности пищевого сырья и пищевых продуктов и совершенных способов ее исследования. Одной из разработок прошлого века, актуальной и в настоящее время, является открытие метода электронного парамагнитного резонанса как частного случая магнитного резонанса.

Метод электронного парамагнитного резонанса открыт в 1944 г. Е. К. Завойским (Казанский университет), который проводил исследования парамагнитной релаксации на высоких частотах (107–108 Гц) при параллельной и перпендикулярной ориентациях переменного и постоянного магнитных полей. В зарубежной литературе для этого метода применяются следующие аббревиатуры: EPR (Electron Paramagnetic Resonance) и ESR (Electron Spin Resonance).

Пионерами применения ЭПР в биологических исследованиях были Л. А. Блюменфельд и А. Э. Калмансон, которые в 1958 г. с помощью метода ЭПР обнаружили свободные радикалы, полученные под действием ионизирующего излучения на белки. Институт проблем химической физики РАН и Государственная корпорация атомной энергии «Росатом» активно занимаются данной проблематикой и проводят исследования на протяжении нескольких десятилетий. В разные годы исследованию ЭПР были посвящены работы таких ученых и исследователей, как Т. Дж. Инграм (1961), Л. А. Блюменфельд, В. В. Воеводский, А. Г. Семенов (1962), А. Керрингтон, Э. Маклахлан (1970), С. В. Вонсовский (1971), Н. И. Корст, Л. И. Анциферова (1978), А. Ю. Брезгунов, А. А. Дубинский, О. Г. Полуэктов,

А. Г. Воробьева, Я. С. Лебедев (1990), В. И. Криничный (1992), С. А. Дзюба (1994), А. Н. Тихонов (1997), А. А. Дубинский (1997), Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц (2000), Д. Н. Половяненко (2008), Г. В. Козьмин, С. А. Гераськин, Н. И. Санжарова (2015) и др.

Среди иностранных исследователей можно отметить R. S. Eachus, T. D. Pawlik, R. C. Baetzold, D. A. Crosby, W. G. McDugle, M. Uchida, M. Ono (2000), S. S. Eaton, G. R. Eaton, L. J. Berliner, F. F. Popescu, M. Martinelli, C. A. Massa, L. A. Pardi, V. Bercu (2005), K. Möbius, D. Goldfarb (2008), D. P. Barr, R. T. Weber (2010), A. Ota, Marjet Šentjurc, M. Bele, P. Ahlin Grabnar, N. Poklar Ulrich (2015) и др.

В настоящее время метод ЭПР широко применяется как один из методов фундаментальных исследований различных веществ. Он позволяет с высокой степенью достоверности идентифицировать пищевые продукты, обработанные ионизирующим излучением. Метод ЭПР можно считать наиболее эффективным и универсальным. На основании исследования пищевой продукции разными методами: термолюминесценцией, радиолуминесценцией и методом электронного парамагнитного резонанса, H. Anderle утверждает, эти методы сопоставимы, но измерение методом ЭПР более эффективно для твердых веществ [317].

На наш взгляд, метод ЭПР, помимо чисто научного интереса, представляет и прикладной интерес для оценки радиационной безопасности пищевой продукции, что связано с распространением обработки продуктов питания и пищевого сырья ионизирующим излучением. ЭПР и хемилуминесценция являются основными прямыми методами для обнаружения радикалов в организме [12; 28]. Если чувствительность метода ЭПР недостаточна для регистрации свободных радикалов в связи с высокой активностью свободных радикалов, большой скоростью их генерации, высокой скоростью рекомбинации и вступления в реакции перекисного окисления липидов (ПОЛ), то применяется подход, основанный на использовании спиновых ловушек, когда в химической реакции со спиновой ловушкой активные радикалы превращаются в стабильные, фиксируемые методом ЭПР [28; 343].

Метод ЭПР основан на поглощении сверхвысокочастотной энергии переменного тока парамагнитным веществом, находящимся в сильном постоянном

магнитном поле. Сигнал ЭПР является огибающей сигнала на частоте модуляции и пропорционален производной энергии микроволновых колебаний, поглощенной образцом, по магнитному полю [304]. Метод ЭПР позволяет при обнаружении сигнала по амплитуде и форме сигналов (спектров) судить о существовании неспаренных электронов в образце, их концентрации и, в редких случаях, химической структуре радикалов, содержащих эти неспаренные электроны [428]. По величине и форме сигнала ЭПР можно судить о концентрации и типах зарождающихся парамагнитных центров [25], что согласуется с нашими данными [254; 255; 266; 272; 274]. Метод ЭПР позволяет с высокой степенью достоверности идентифицировать продукцию, подвергнутую обработке ионизирующим излучением. Сигнал ЭПР представляет собой первую производную от линии поглощения. Концентрация парамагнитных центров пропорциональна второму интегралу от спектра ЭПР [25].

В настоящее время можно легко зарегистрировать любой свободный радикал [3; 33]. Скорость цепной реакции зависит от соотношения количества образующихся свободных радикалов и от количества гибнущих радикалов. Исходя из этого, можно ускорить этот процесс путем добавлением веществ, содержащих свободные радикалы, или в результате воздействия некоторых физических факторов (например, ионизирующего излучения), способных индуцировать образование этих промежуточных соединений.

Для проведения исследований методом электронного парамагнитного резонанса используются ЭПР-спектрометры различных модификаций и производителей. Первый многофункциональный универсальный ЭПР-спектрометр 2-мм диапазона был разработан и создан в Институте химической физики РАН под руководством профессора Я. С. Лебедева в 1975 г. Первоначально биологические эксперименты проводили с высушенными или замороженными образцами, так как наблюдалось значительное снижение чувствительности ЭПР-спектрометров из-за большого содержания воды, что не позволяло работать с водосодержащими образцами. По мере развития техники ЭПР ограничения по содержанию воды в образцах минимизировались.

Таким образом, метод ЭПР служит для изучения парамагнитных центров – свободных радикалов, возникающих в результате действия ионизирующего излучения на биологические структуры, и целого ряда парамагнитных металлов. Вклад в изменение сигнала могут вносить витамины, гормоны, флавины и т. д.

1.4.2 Унификация и персонализация метода ЭПР для различных видов пищевых продуктов

В современных условиях для идентификации ранее обработанного ионизирующим излучением продовольственного сырья и пищевых продуктов применяется метод ЭПР. В работах [297; 344] отмечается, что установление факта облучения методом ЭПР возможно из-за присутствия долговечных свободных радикалов, прежде всего радикальных анионов CO_2^- , CO_3^{3-} , SO_2^- и SO_3^- . Ряд исследователей установили, что интенсивность ЭПР-сигнала сохраняется с течением времени. F. Abdel-Rehim и др. отмечают, что радиационно-индуцированный сигнал ЭПР может быть обнаружен и через 60 дн. [310]. А. В. Тихонов, А. Е. Chiaravalle, А. Е. Goulas и др. выявили, что через два года с момента облучения у 44–75 % образцов костной ткани (ОКТ) сохраняется исходный ЭПР-спектр, что позволяет установить факт облучения во время хранения пищевых продуктов животного происхождения [276; 347; 391]. D. W. Sin и др. (2005) применяли метод ЭПР для обнаружения факта облучения в костях сельскохозяйственных животных и птицы, рыбы и раковины моллюска и выявили, что ЭПР-сигналы стабильны в костях млекопитающих и раковин моллюсков [490]. Вместе с тем интенсивность радиационно-индуцированного сигнала ЭПР возрастает при увеличении дозы; выявлена нелинейная зависимость между дозой облучения и амплитудой ЭПР-сигнала, что подтверждается нашими исследованиями [105; 254; 511]. ЭПР как инструментальный метод, по мнению M. Uchida и M. Оно, является эффективным и хорошо коррелируется с дегустационным анализом [514].

Нормативная база по исследованию облученной продукции в нашей стране находится на начальном этапе формирования, на территории РФ действуют три стандарта для идентификации пищевых продуктов, обработанных ионизирующим излучением, методом электронного парамагнитного резонанса. Нормативная база унифицирована по определенному характерному признаку: костная ткань, целлюлоза и кристаллический сахар, что определяет использование стандартов для сфокусированных групп по области ее применения:

– ГОСТ Р 52529-2006 «Мясо и мясные продукты. Метод электронного парамагнитного резонанса для выявления радиационно-обработанных мяса и мясopодуlктов, содержащих костную ткань» идентичен европейскому стандарту EN 1786-1996 «Пищевые продукты. Обнаружение облученных пищевых продуктов, содержащих кости. Метод ЭПР-спектроскопии»; в настоящее время европейский стандарт переиздан – EN 1786-1997 «Продукты пищевые. Обнаружение облученных продуктов, содержащих кости. Спектроскопический метод ESR (резонансная парамагнитная электроника)» [55; 71];

– ГОСТ 31672-2012 «Пищевые продукты. Метод электронного парамагнитного резонанса для выявления радиационно-обработанных продуктов, содержащих целлюлозу» (взамен ГОСТ Р 53186-2008) идентичен европейскому стандарту EN 1787-2000 «Продукты питания – Детектирование облученных продуктов питания, содержащих целлюлозу, методом ЭПР-спектроскопии» [44; 72];

– ГОСТ 31652-2012 «Пищевые продукты. Метод электронного парамагнитного резонанса для выявления радиационно-обработанных продуктов, содержащих кристаллический сахар» (взамен ГОСТ Р 52829-2007) идентичен европейскому стандарту EN 13708:2001 «Метод электронного парамагнитного резонанса для выявления радиационно-обработанных продуктов, содержащих кристаллический сахар», в настоящее время европейский стандарт переиздан – EN 13708-2002 «Пищевые продукты. Обнаружение облученных продуктов, содержащих кристаллический сахар, посредством ЭПР-спектроскопии» [43; 70].

В стандартах, принятых в России, учтены основные положения аутентичных европейских стандартов. Существующие российские стандарты по идентификации

обработанных ионизирующим излучением продуктов идентичны, но отличаются по таким пунктам регламента исследования, как методика отбора проб в соответствии с видами исследуемых продуктов и методика подготовки к процессу проведения измерений. При этом отмечается необходимость обязательной сушки образцов.

ГОСТ Р 52529-2006 «Мясо и мясные продукты. Метод электронного парамагнитного резонанса для выявления радиационно-обработанных мяса и мясопродуктов, содержащих костную ткань» предназначен для выявления факта облучения (радиационной стерилизации) мяса крупного рогатого скота, свиней, содержащие костную ткань с поглощенной дозой более 1 кГр. Метод основан на использовании костной ткани крупного рогатого скота и свиней в качестве объекта, накапливающего и сохраняющего в течение длительного времени радиационно-индуцированные парамагнитные центры. Факт стерилизации мяса дозой облучения более 1 кГр устанавливается сравнением спектра ЭПР ОКТ и спектра ЭПР парамагнитных центров в мере обработанной зубной эмали (ОЗЭ) [55].

Раздел 3 «Термины и определения» ГОСТ Р 52529-2006, в отличие от ГОСТ 31672-2012 и ГОСТ 31652-2012 включает в себя определение объекта исследования – термин «радиационно-обработанные мясопродукты, содержащие костную ткань» (РОМ): мясо крупного рогатого скота и свиней, содержащее в своем составе фрагменты костной ткани и обработанное источником ионизирующего излучения (^{127}Cs или ^{60}Co), ускорителем электронов.

Требования к спектрометру и условиям проведения исследований во всех трех вышеобозначенных стандартах идентичны. Обработка спектров ЭПР осуществляется вручную. Заключение о факте обработки дается на основании идентификации по форме линий поглощения путем сопоставления (измерения) интенсивности сигнала ЭПР-спектра ОКТ с интенсивностью сигнала ЭПР 3-й компоненты спектра МПД ОЗЭ (мера поглощенной дозы обработанной зубной эмали) в соответствии с приложением А данного стандарта (представлена графическая обработка спектров ЭПР).

Мерой поглощенной дозы ионизирующего излучения служит амплитуда нормальной составляющей радиационного сигнала или второй интеграл огибающей

сигнала ЭПР от радиационного парамагнитного центра, которые пропорциональны числу РПЦ, образованных в кристаллической структуре облученной эмали, по ТУ 4381-001-08627448-95 «Мера поглощенной дозы в облученной зубной эмали МПД ОЗЭ». Процесс идентификации аналогичен процессам идентификации по ГОСТ 31672-2012 и ГОСТ 31652-2012.

Установление факта обработки ионизирующим излучением ОКТ дозой более 1 кГр определяется расчетным путем:

$$D = \frac{\text{КПЦ} \times L_O}{M \times L_M} \times 10^{-15}, \quad (1)$$

где КПЦ – число парамагнитных центров, соответствующее 3-й компоненте спектра ЭПР МПД ОЗЭ (мера поглощенной дозы в облученной зубной эмали); L_O – средне-арифметическое значение интенсивности сигнала ЭПР ОКТ, мм; M – масса образца костной ткани, г; L_M – интенсивность сигнала ЭПР 3-й компоненты МПД ОЗЭ, мм.

Данный пункт, имеющийся в ГОСТ Р 52529-2006, отсутствует в ГОСТ 31672-2012 и ГОСТ 31652-2012.

ГОСТ 31672-2012 «Пищевые продукты. Метод электронного парамагнитного резонанса для выявления радиационно-обработанных продуктов, содержащих целлюлозу» устанавливает метод обнаружения обработанных ионизирующим излучением пищевых продуктов, содержащих целлюлозу, путем анализа спектра ЭПР исследуемых образцов. Метод проверен на таких пищевых продуктах, как земляника, фисташки и молотый красный перец.

ГОСТ 31652-2012 «Пищевые продукты. Метод электронного парамагнитного резонанса для выявления радиационно-обработанных продуктов, содержащих кристаллический сахар» устанавливает метод обнаружения обработанных ионизирующим излучением пищевых продуктов, содержащих кристаллический сахар (сушеные фрукты), которые были подвергнуты действию ионизирующего излучения, путем анализа спектра ЭПР исследуемых образцов.

Обработка ионизирующим излучением приводит к появлению парамагнитных центров (ПЦ), которые могут быть обнаружены в твердых частях пищевых продуктов. Интенсивность полученного сигнала возрастает с ростом концентрации ПЦ, а значит, и примененной дозы облучения. По наличию свободных радикалов в ходе ЭПР-спектроскопии устанавливается факт облучения/необлучения.

В разд. 3 «Термины и определения» ГОСТ 31672-2012 и ГОСТ 31652-2012, в отличие от ГОСТ Р 52529-2006, имеется разъяснение определений таких терминов, как *g*-фактор, синглет, мультиплет.

В п. 3.3 ГОСТ 31652-2012 имеется опечатка: написано «...целлюлозы», должно быть «...сахара».

Отбор проб осуществляется в соответствии с видом исследуемого продукта. Подготовка образцов отличается: по ГОСТ 31672-2012 отбираются семена, скорлупа, ядра, косточки или сушеные пряности в молотом виде; по ГОСТ 31652-2012 отбираются различные части плодов (мякотная часть). Измерение *g*-фактора осуществляется путем наложения центров спектра наблюдаемых мультиплета и синглета ДФПГ (стабильного радикала 2,2-дифенил-1-пикрилгидразила). Заключение о радиационной обработке дается при идентификации спектров исследуемых образцов со спектрами, приведенными в приложении А стандарта, где представлена графическая обработка спектров ЭПР.

Таким образом, методология исследования различных видов пищевых продуктов, обработанных ионизирующим излучением, *унифицирована в части*: применяемой терминологии; условий проведения измерений; используемых средств измерения; регистрации спектра ЭПР; требований к содержанию воды в образцах исследуемых продуктов; визуальной идентификации спектра ЭПР облученных образцов и типичных характеристик спектров, и *персонализирована в части*: методики отбора образцов; методики подготовки образцов к исследованию; использования расчетного метода установления факта облучения ОКТ по ГОСТ Р 52529-2006 «Мясо и мясные продукты. Метод электронного парамагнитного резонанса для выявления радиационно-обработанных мяса и мясopодуKтов, содержащих

костную ткань»; разновидности спектров ЭПР исследуемых пищевых продуктов, характеризующихся одной или несколькими линиями поглощения, их формой.

Метод ЭПР открыл возможности глубокого изучения свободных радикалов, возникающих в биологических объектах под действием ионизирующего излучения. Программное обеспечение современных спектрометров позволяет получать параметры ЭПР-спектров в автоматическом режиме (g -фактор, амплитуду, ширину, площадь, соотношение сигнал/шум) и идентифицировать пищевые продукты как обработанные ионизирующим излучением без визуальной идентификации по форме и количеству линий поглощения, рассматриваемых в стандартах как контрольный образец (высокостабильный эталон), посредством меры КЩЦ на основе оксида марганца.

Так как химический состав исследуемых пищевых продуктов неоднороден и нутриенты после обработки ионизирующим излучением дают разные спектры, имеется вероятность, что формы спектров ЭПР исследованных пищевых продуктов и формы спектров ЭПР, представленных в качестве примеров в вышеназванных стандартах, будут различны. Например, для обработанных ионизирующим излучением пищевых продуктов, содержащих кристаллический сахар, типичны многокомпонентные спектры (мультиплет), а в содержащих целлюлозу присутствует неспецифический сигнал с дополнительными парами линий.

Унификация и персонализация стандартов по идентификации пищевых продуктов, обработанных ионизирующим излучением, составляют два взаимосвязанных процесса. Использование при исследовании пищевых продуктов современных спектрометров требует своевременного обновления стандартов. По нашему мнению, существующие стандарты по применению метода ЭПР для пищевых продуктов требуют серьезной доработки с учетом следующих факторов:

– существующие стандарты в части идентификации пищевой продукции, обработанной ионизирующим излучением, носят сравнительно-описательный характер, в настоящее время ЭПР-спектры и основные параметры фиксируются и отражаются на экранах мониторов в автоматическом режиме в соответствии

с возможностями специализированных компьютерных программ для современных спектрометров;

– в стандартах отсутствует информация о поглощенных дозах, что является основополагающим для оценки безопасности пищевой продукции и сырья в результате обработки ионизирующим излучением;

– приведенная в ГОСТ Р 52529-2006 формула для выявления факта радиационной обработки образца дозой более 1 кГр неактуальна в связи изменившимися единицами измерения амплитуды и выявления таких параметров ЭПР-сигнала, помимо амплитуды, как ширина и площадь;

– требуют серьезной доработки вопросы пробоподготовки, влияющей на технологичность процесса идентификации и конечные результаты;

– возникают вопросы по расширению области применения (в частности, по продукции животного происхождения с точки зрения унификации метода ЭПР);

– технические возможности современных спектрометров позволяют исследовать различные среды и составные части (например, костная и (или) мышечная ткань мясного и рыбного сырья; чешуя рыбы; мякоть, кожица и семена плодов) пищевого сырья, что требует персонализации в этом случае.

В процессе разработки стандартов необходимо учитывать результаты исследований отечественных ученых для формирования банка данных оптимальных дозовых нагрузок по различным видам пищевого сырья.

Таким образом, применение технологий, основанных на воздействии ионизирующего излучения, в технологическом процессе производства пищевых продуктов обуславливает необходимость радиологического контроля на всех этапах жизненного цикла товара и требует совершенных объективных методов идентификации, к которым и относится метод ЭПР.

Заключение по аналитическому литературному обзору

Анализ зарубежных и отечественных литературных источников показывает, что применение более совершенных технологий обработки и хранения обеспечивает продление сроков хранения при обеспечении безопасности и высокого качества продовольственного сырья и пищевых продуктов, в том числе требующего особых условий хранения мясного и рыбного сырья. К перспективной технологии хранения можно отнести обработку пищевой продукции ионизирующим излучением.

Объединенный комитет экспертов ФАО, МАГАТЭ и ВОЗ в результате изучения многочисленных экспериментальных исследований пришел к выводу, что обработка любого пищевого продукта дозами ионизирующим излучением, не превышающими 10 кГр, не вызывает токсического действия и не требует дальнейших токсикологических исследований. В то же время в разных странах мира максимально допустимые дозы различаются: в США – 30 кГр, в Бельгии и Голландии – 10 кГр, во Франции – 11 кГр. В настоящее время более 100 наименований пищевой продукции обрабатываются ионизирующим излучением с целью увеличения сроков годности и сохранения товарного вида. В России максимально допустимая доза облучения в настоящее время не регламентирована.

Несмотря на сомнения некоторых ученых, в результате многочисленных исследований не установлено, что при обработке ионизирующим излучением существенно изменяется пищевая ценность продуктов и возникают токсичные или канцерогенные вещества при условии соблюдения технологичности процесса и выбора оптимальных доз облучения. Питательные свойства продуктов при облучении ухудшаются не более, чем при традиционных способах обработки или в процессе хранения. Наиболее чувствительны к дозам облучения липиды и антиоксиданты.

Нормативная база в области обработки ионизирующим излучением сформирована за рубежом. В России только начал формироваться комплекс нормативно-законодательных актов, регламентирующих процедурный подход к применению радиационных технологий и дозиметрии, которые идентичны зарубежным

аналогам и не в полной мере адаптированы для применения в современных условиях. Стандарты частично носят описательный характер и неактуальны по методикам и фиксации результатов (например, по методу ЭПР). Имеются стилистические неточности в терминологии, что может быть обусловлено неточным переводом и приводит к замещению понятий «доза» и «поглощенная доза». Вопросы дозиметрии актуальны для идентификации и определения поглощенных доз, но предлагаемые методики по определению поглощенных доз на основании рабочих дозиметров не позволяют корректно определять эти дозы. Отсутствуют регламентирующие показатели по выбору оптимальных доз облучения практически по всем видам пищевого сырья (кроме некоторых видов пряностей). В национальных стандартах – руководствах по облучению только справочно приведена информация по радиочувствительности некоторых микроорганизмов. Исходя из того, что ответственность за выбор доз облучения лежит на собственниках пищевых ресурсов, возникает объективная необходимость в закреплении за ними ответственности за объективность контроля качества обработанных ионизирующим излучением пищевых продуктов, что обеспечит гарантию их безопасности для здоровья потребителя. Вместе с тем логично обоснована потребность в совершенствовании системы нормативно-правового регулирования и внесении дополнений по обеспечению безопасности пищевой продукции, обработанной ионизирующим излучением. В нашей стране официально не закреплено требование о размещении международного символа облучения – знака «Радура».

Безопасность как основополагающий постулат должна лежать в основе распространения радиационных технологий. Несовершенство нормативной базы в части идентификации обработанной ионизирующим излучением пищевой продукции, выбора оптимальных доз облучения, влияния ионизирующего излучения на качество, безопасность и сохраняемость пищевого сырья определяет цель диссертационного исследования – научное и экспериментальное обоснование применения метода ЭПР для качественной и количественной идентификации, обеспечения сохраняемости и продления сроков годности пищевой продукции, обработанной ионизирующим излучением.

ГЛАВА 2. ОРГАНИЗАЦИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА, ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1 Организация эксперимента

В соответствии с целью и поставленными задачами экспериментальные исследования проводились автором лично на базе ФГБОУ ВО «Уральский государственный экономический университет» (кафедра пищевой инженерии, Единый лабораторный комплекс), Центра радиационной стерилизации (ЦРС) Уральского федерального университета имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, предприятия ООО «Спектр» (Екатеринбург), ЗАО Комбинат пищевой «Хороший вкус» (Екатеринбург), ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный аграрный университет» (Троицк). Исследование сырья и пищевых продуктов с использованием лабораторного оборудования проводилось в аккредитованной пищевой лаборатории ЗАО Комбинат пищевой «Хороший вкус». Органолептическая оценка осуществлялась специалистами-дегустаторами ЗАО Комбинат пищевой «Хороший вкус» и сотрудниками кафедры пищевой инженерии, имеющими опыт работы в сфере оценки качества.

Схема проведения исследований, представленная на рисунке 2, отражает основные этапы выполнения диссертационной работы.

На **первом** (научно-теоретическом) **этапе** исследований 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. Источником патентной информации служили портал ФГБУ «Федеральный институт промышленной собственности» (ФИПС), портал Федеральной службы по

интеллектуальной собственности «Роспатент», реферативные журналы «Изобретения. Полезные модели».

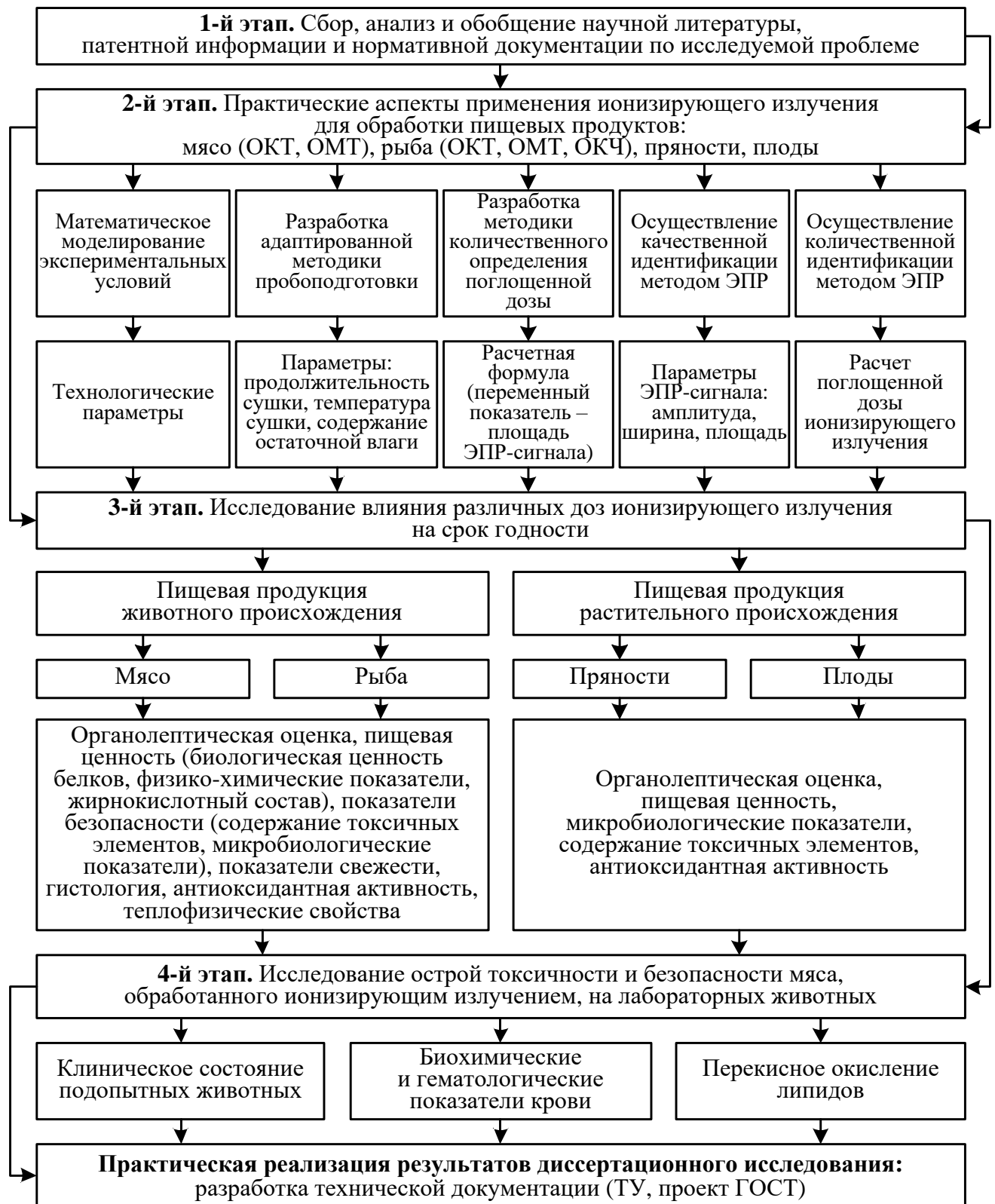


Рисунок 2 – Схема проведения диссертационных исследований

На **втором этапе** выполнено прогнозное моделирование расчетной поверхностной поглощенной дозы ионизирующего излучения и по результатам проведенных исследований дано теоретическое и практическое обоснование применения разных доз ионизирующего излучения, выполнена качественная и количественная идентификация методом ЭПР: разработана адаптированная методика пробоподготовки по различным объектам исследования и их составным частям; разработана методика количественного определения поглощенной дозы на основе расчетной унифицированной формулы согласно ГОСТ Р 52529-2016 (в качестве переменных для расчета по формуле определены площадь под ЭПР-сигналом и масса образца для ЭПР-спектроскопии, в качестве единиц измерения – относительные единицы); проведена качественная идентификация в результате экспериментальных исследований методом ЭПР по основным параметрам ЭПР-сигнала (амплитуда, ширина, площадь) в зависимости от разных доз ионизирующего излучения (до 12 кГр) по разным составным частям обработанных ионизирующим излучением объектов исследования; проведена количественная идентификация различных объектов исследования, обработанных разными дозами по разным составным частям, и построены математические модели зависимости поглощенной дозы от дозы облучения и площади ЭПР-сигнала.

На **третьем этапе** исследовано влияние разных доз на сроки годности обработанной ионизирующим излучением пищевой продукции животного и растительного происхождения. Проведена органолептическая оценка пищевой продукции животного происхождения, исследована пищевая ценность (биологическая ценность белков мясного и рыбного сырья, жирнокислотный состав липидов мясного сырья); определены физико-химические показатели (рН, влагосвязывающая способность) для мясного сырья, показатели свежести (амино-аммиачный азот, кислотное число, перекисное число), антиоксидантная активность (АОА) и теплофизические свойства мясного и рыбного сырья, микробиологические показатели; проведены гистологические исследования мясных полуфабрикатов; исследовано содержание токсичных элементов. Проведена органолептическая оценка продукции растительного происхождения, исследованы пищевая ценность, микробиологические показатели и АОА, исследовано содержание токсичных элементов. Установлены

рациональные дозы ионизирующего излучения для обеспечения качества и безопасности обработанной ионизирующим излучением пищевой продукции в процессе хранения для продления сроков годности.

Четвертый этап посвящен определению острой токсичности пищевой продукции, обработанной ионизирующим излучением, – исследована острая токсичность и доказана безопасность обработанного разными дозами мяса на мышах беспородных по результатам гематологических и биохимических показателей крови, ПОЛ в крови лабораторных животных.

2.2 Объекты исследования

Для экспериментальных исследований объектами выбраны:

- охлажденное мясное сырье (говядина, свинина, мясо птицы) отечественного производства;
- охлажденные мясокостные полуфабрикаты отечественного производства, упакованные в модифицированную газовую среду (МГС) (производитель – ЗАО Комбинат пищевой «Хороший вкус»);
- охлажденное мясо косули промыслового забоя;
- охлажденная рыба (каarp обыкновенный охлажденный неразделанный отечественного производства – лат. *Suiprinus carpio*, вид пресноводных лучеперых рыб семейства карповых);
- плоды свежие (яблоко свежее отечественного производства сорта «Ренет Платона Симиренко»);
- пряности импортного производства: перец черный молотый (страна производства – Вьетнам), перец белый молотый (Швеция), куркума молотая (Индия), чили острый молотый (Таиланд), чили жгучий молотый (Индия);
- лабораторные животные (половозрелые беспородные мыши в возрасте 3 мес. обоего пола массой $(37,0 \pm 2,6)$ г (самки: $(28,1 \pm 2,9)$ г; самцы: $(46,1 \pm 2,3)$ г);

– кровь лабораторных животных.

Для подтверждения или неподтверждения присутствия на потребительском рынке пищевых продуктов, ранее обработанных ионизирующим излучением, исследовались рыба охлажденная (форель радужная охлажденная потрошенная с головой отечественного и импортного производства – микиша, лат. *Salmo irideus*, представитель семейства лососевых); ягоды переработанные импортного производства (земляника сушеная, изюм); плоды свежие импортного производства (лайм, банан красный ямайский), молотые пряности импортного производства (перец черный, перец белый, куркума, чили острый, чили жгучий).

Образцы мясного сырья (говядина, свинина, мясо косули) брались из разных частей туши: плечелопаточный отруб и тазобедренный отруб с костью после 48 ч с момента убоя массой 2 кг для исследования костной и мышечной ткани; образцы мяса птицы (цыплята-бройлеры) с костью массой 1,4 кг; образцы рыбы охлажденной целыми тушками массой до 1,5 кг с дальнейшим разделением на костную и мышечную ткань, кожу с чешуей; у земляники отделялась мякоть и семечки с остаточным содержанием мякоти; у лайма – кожура; у банана красного, яблока, изюма – отдельно кожура и мякоть; пряности исследовались по молотым плодам. Для исследований мясных полуфабрикатов отбиралось мясо свинины на кости из шейного отруба в соответствии с установленными границами отделения отрубов: передняя граница проходила по линии отделения головы, задняя – между 4-м и 5-м грудными позвонками, нижняя – по вентральному краю шейных и грудных позвонков (ТУ-10.11.10-008-57668367-2017 «Мясо. Говядина и свинина, разделанные для розничной торговли. Технические условия» со сроком годности до 10 сут при температуре $(0 \pm 4,0) ^\circ\text{C}$). Для исследования отбирались цельные куски мышечной ткани с костью (шейным позвонком), с наличием жировой и соединительной ткани в естественном соотношении, без шкуры, с толщиной шпика на поверхности не более 1 см массой до 1 кг. Все образцы мясных полуфабрикатов были упакованы в МГС, из газа «Биогон ОС-20», состоящего на 80 % из кислорода и на 20 % из углекислого газа, на линии упаковки «Мультивак» с использованием термоформуемых пленок PVC (нижняя пленка) и «SLAVAFLEX» PET//PE/EVON/PE (верхняя покрывная пленка).

Предмет исследования – качественная и количественная идентификация различных видов обработанной ионизирующим излучением пищевой продукции и ее сохраняемость в результате применения способа обработки, основанного на принципах анабиоза и абиоза в зависимости от дозы облучения.

Все исследуемые образцы соответствовали требованиям нормативных документов: технического регламента Таможенного союза «О безопасности пищевой продукции» (ТР ТС 021/2011), технического регламента Таможенного союза «О безопасности мяса и мясной продукции» (ТР ТС 034/2013), технического регламента Евразийского экономического союза «О безопасности рыбы и рыбной продукции» (ТР ЕАЭС 040/2016), санитарных норм и правил СанПиН 2.3.2.1078-01 «Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов», СанПиН 2.3.2.1324-03 «Гигиенические требования к срокам годности и условиям хранения пищевых продуктов», а также для упакованной продукции – технического регламента Таможенного союза «О безопасности упаковки» (ТР ТС 005/2011) и технического регламента Таможенного союза «Пищевая продукция в части ее маркировки» (ТР ТС 022/2011).

Выбор объектов исследования основан на том, что в условиях экономических санкций и продовольственного эмбарго, установленного в целях обеспечения продовольственной безопасности и продовольственной независимости нашей страны, существенную роль играет опережающее развитие предприятий агропромышленного комплекса, в том числе для обеспечения населения отечественной пищевой продукцией (в первую очередь, свининой и птицей), увеличения производства говядины и вылова рыбы и морепродуктов, а также востребованного диетического мяса, мяса диких копытных животных, в частности мяса косули промыслового забоя. Традиционно товарный рынок мясопродуктов представлен говядиной, свининой и мясом птицы, которые требуют особых условий хранения. Свинина отличается более высоким содержанием липидов, легко окисляемых в процессе хранения. Проведение сравнительных исследований по мясному сырью, полученному от разных видов скота, а также птицы, позволит научно обосновать

оптимальные дозы ионизирующего излучения в зависимости от вида сырья для продления сроков годности.

Выбор охлажденных мясокостных полуфабрикатов отечественного производства, упакованных в МГС, в качестве объекта исследования объясняется тем, что на потребительском рынке хранение в МГС широко распространено и для продления сроков годности требуется применение более совершенных технологий. В разных странах применяют различное соотношение газов. Так, в Ирландии, Великобритании, Франции газовая среда состоит на 70 % из кислорода и на 30 % из диоксида углерода, в США данное соотношение составляет 80:20. На ЗАО Комбинат пищевой «Хороший вкус» для хранения мясных полуфабрикатов также используют соотношение газов в газовой среде 80:20, что позволяет увеличить сроки годности мясных полуфабрикатов до 10 сут при температуре хранения продуктов от 3 до 6 °С при упаковке в термоформуемую пленку.

Выбор карпа обыкновенного, выращенного в условиях прудового рыбоводства, определен его распространенностью на рынке рыбной продукции и пищевой ценностью: карп обыкновенный относится к рыбе умеренно жирных сортов и является источником легкоусвояемого белка. На потребительском рынке карп традиционно представлен в охлажденном или живом виде, что требует особых условий хранения. Проведение исследований обусловлено необходимостью определения рациональных доз ионизирующего излучения для продления сроков годности обработанной скоропортящейся рыбной продукции.

Исследование пряностей импортного производства обусловлено прежде всего тем, что до 80 % пряностей, представленных на потребительском рынке России, произрастало и было расфасовано за рубежом. Отечественные поставщики пряностей также в основном работают на импортном сырье. Ввиду большой зараженности сельскохозяйственными вредителями по месту произрастания именно пряности стали обрабатывать ионизирующим излучением одними из первых пищевых продуктов. Низкое содержание воды, жиров и белков является решающим фактором, позволяющим сохранить высокую пищевую ценность пряностей, обработанных ионизирующим излучением.

Выбор в качестве объекта исследования яблок отечественного производства определяется их распространенностью на территории РФ и соответственно высокой долей в розничных продажах – до 30 %. В условиях импортозамещения продление сроков годности яблок свежих, обработанных ионизирующим излучением, позволит полностью обеспечить потребности отечественного потребительского рынка.

Исследование продукции импортного производства обусловлено также тем, что форель радужная, отличающаяся высоким содержанием общего белка, пряности, плоды и ягоды свежие и переработанные импортного производства занимают достаточно большую долю в продажах на потребительском рынке, особенно пряности – в силу того, что в основном они выращиваются в других климатических зонах. Выбор образцов земляники сушеной и изюма для ЭПР-исследования обусловлен наличием методики пробоподготовки согласно ГОСТ 31652-2012 «Продукты пищевые. Метод электронного парамагнитного резонанса для выявления радиационно-обработанных продуктов, содержащих кристаллический сахар». Образцы лайма и банана красного выбраны сообразно возможности исследования плодов с разным видом кожуры: у лайма кожура тонкая и мягкая, у банана – толстая и мясистая. Кроме того, мякоть банана отличается плотной консистенцией в отличие от более сочных плодов (семечковых, косточковых, цитрусовых и др.). В качестве рабочей гипотезы было выдвинуто предположение о возможности исследования мякоти методом ЭПР.

Для продления сроков годности за рубежом активно применяются радиационные технологии. Исследование импортной продукции позволяет научно доказать факт присутствия и (или) отсутствия пищевой продукции, обработанной ионизирующим излучением, на потребительском рынке нашей страны до момента официального разрешения обработки ионизирующим излучением.

Изменение потребительских предпочтений в направлении приобретения свежей и (или) охлажденной продукции, полуфабрикатов высокой степени готовности и готовой мясной продукции (вареных колбас) определяет переход к технологиям обработки пищевой продукции ионизирующим излучением.

При проведении исследований на половозрелых беспородных мышах обеспечивалось соответствие требованиям согласно приказу Министерства здравоохранения СССР от 12 августа 1977 г. № 755 «О мерах по дальнейшему совершенствованию организационных форм работы с использованием экспериментальных животных» [147].

2.3 Методы исследования

В соответствии с целью исследований и для решения поставленных задач использованы стандартные и модифицированные методы исследований пищевого сырья и пищевых продуктов: метод электронного парамагнитного резонанса; потенциометрический метод; органолептические, физико-химические, биохимические, микробиологические, статистические методы исследования сырья и пищевых продуктов. Определение показателей качества проводили измерительным, расчетным, органолептическим и экспертным методами. Сроки исследования для обоснования сроков годности определялись в соответствии с коэффициентом резерва по МУК 4.2.1847-04 «Санитарно-эпидемиологическая оценка обоснования сроков годности и условий хранения пищевых продуктов».

Методология применения ионизирующего излучения в разных дозах пучком ускоренных электронов регламентируется межгосударственными и национальными стандартами. Как основополагающий стандарт для исследования использован ГОСТ ISO 14470-2014 «Радиационная обработка пищевых продуктов. Требования к разработке, валидации и повседневному контролю процесса облучения пищевых продуктов ионизирующим излучением».

Процедура обработки ионизирующим излучением проводилась в соответствии с требованиями ряда стандартов: ГОСТ 33339-2015 «Радиационная обработка пищевых продуктов. Основные технические требования»; ГОСТ 33271-2015 «Пряности сухие, травы и приправы овощные. Руководство по облучению в целях

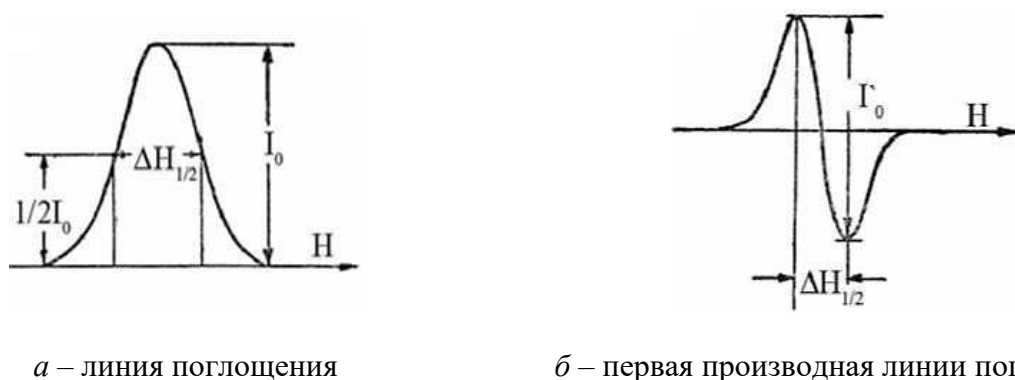
борьбы с патогенными и другими микроорганизмами»; ГОСТ 33302-2015 «Производство сельскохозяйственная свежая. Руководство по облучению в целях фитосанитарной обработки»; ГОСТ 33820-2016 «Мясо свежее и мороженое. Руководство по облучению для уничтожения паразитов, патогенных и иных микроорганизмов»; ГОСТ 33825-2016 «Полуфабрикаты из мяса упакованные. Руководство по облучению для уничтожения паразитов, патогенных и иных микроорганизмов»; ГОСТ 34154-2017 «Руководство по облучению рыбы и морепродуктов с целью подавления патогенных и вызывающих порчу микроорганизмов»; ГОСТ Р ИСО/АСТМ 51431-2012 «Руководство по дозиметрии при обработке пищевых продуктов электронными пучками и рентгеновским (тормозным) излучением»; ГОСТ 34155-2017 «Руководство по дозиметрии при исследовании влияния радиации на пищевые и сельскохозяйственные продукты».

Изучение маркировки проводили в соответствии с требованиями ТР ТС 022/2011 «Пищевая продукция в части ее маркировки»; ГОСТ 33800-2016 «Производство пищевая облученная. Общие требования к маркировке».

Радиобиологический контроль пищевых продуктов и идентификация необработанной и обработанной ионизирующим излучением в ходе проведения эксперимента пищевой продукции осуществляли методом электронного парамагнитного резонанса в соответствии с ГОСТ Р 52529-2006 «Мясо и мясные продукты. Метод электронного парамагнитного резонанса для выявления радиационно-обработанных мяса и мясопродуктов, содержащих костную ткань»; ГОСТ 31672-2012 «Продукты пищевые. Метод электронного парамагнитного резонанса для выявления радиационно-обработанных продуктов, содержащих целлюлозу»; ГОСТ 31652-2012 «Продукты пищевые. Метод электронного парамагнитного резонанса для выявления радиационно-обработанных продуктов, содержащих кристаллический сахар».

Спектроскопия ЭПР заключается в следующем: под воздействием ионизирующего излучения происходит цепная реакция возбуждения молекул с появлением высокоактивных свободных радикалов и появляется аналитический сигнал – ЭПР-спектр, фиксируемый с помощью спектрометра [254]. В спектрометрах

ЭПР-сигнал регистрируется не в интегральном виде, а в виде первой производной. Для характеристики сигналов ЭПР применяются разные параметры (рисунок 3).



a – линия поглощения

б – первая производная линии поглощения

Рисунок 3 – Параметры одиночной симметричной линии в спектре ЭПР [295]

При исследованиях концентрация радикалов имеет большое значение. При снижении концентрации уменьшается скорость обменных процессов, что приводит к сужению линий, а также падает интенсивность регистрируемого сигнала. С увеличением объема образца увеличивается число спинов в резонаторе и, следовательно, интенсивность регистрируемого сигнала. Одиночная линия поглощения в спектре ЭПР характеризуется следующими параметрами: g -фактор, амплитуда, ширина и площадь.

Образцы проб подготавливали к исследованию в соответствии с методиками и стандартами. Для отбора и подготовки образцов, в том числе для исследования физико-химических и микробиологических показателей и органолептической оценки, использовали: ГОСТ Р 55445-2013 «Мясо. Говядина высококачественная. Технические условия»; ГОСТ 31476-2012 «Свинья для убоя. Свинина в тушах и полутушах. Технические условия»; ГОСТ Р 55365-2012 «Фарш мясной. Технические условия»; ГОСТ ISO 6658-2016 «Органолептический анализ. Методология. Общее руководство»; ГОСТ 9959-2015 «Мясо и мясные продукты. Общие условия проведения органолептической оценки»; ГОСТ Р 51944-2002 «Мясо птицы. Методы определения органолептических показателей, температуры и массы»; ГОСТ 7269-2015 «Мясо. Методы отбора образцов и органолептические методы определения

свежести»; ГОСТ Р 51447-99 «Мясо и мясные продукты. Методы отбора проб»; ГОСТ 31339-2006 «Рыба, нерыбные объекты и продукция из них. Правила приемки и методы отбора проб»; ГОСТ 7631-2008 «Рыба, нерыбные объекты и продукция из них. Методы определения органолептических и физических показателей»; ГОСТ 814-96 «Рыба охлажденная. Технические условия»; ГОСТ 26669-85 «Продукты пищевые и вкусовые. Подготовка проб для микробиологических анализов»; ГОСТ ISO 927-2014 «Пряности и приправы. Определение примесей и посторонних веществ»; ГОСТ 29050-91 «Пряности. Перец черный и белый. Технические условия»; ГОСТ 29053-91 Пряности. Перец красный молотый. Технические условия; ГОСТ ISO 5562-2017 «Пряности. Куркума целая и молотая (порошкообразная). Технические условия»; ГОСТ Р 57976-2017 «Фрукты и овощи свежие. Термины и определения»; СТ СЭВ 4295-83 «Фрукты и овощи свежие. Отбор проб»; ГОСТ 26313-2014 «Продукты переработки фруктов и овощей. Правила приемки и методы отбора проб»; ГОСТ 26671-2014 «Продукты переработки фруктов и овощей, консервы мясные и мясорастительные. Подготовка проб для лабораторных анализов»; ГОСТ 32896-2014 «Фрукты сушеные. Общие технические условия»; ГОСТ 6882-88 «Виноград сушеный. Технические условия»; ГОСТ 8756.1-2017 «Продукты переработки фруктов, овощей и грибов. Методы определения органолептических показателей, массовой доли составных частей, массы нетто или объема», ГОСТ 34314-2017 «Яблоки свежие, реализуемые в розничной торговле. Технические условия», ГОСТ 21819-88 «Яблоки свежие. Хранение в холодильных камерах».

Для органолептической оценки применялся описательный метод аналитической оценки – балльная оценка. Для перевода органолептических показателей в объективную форму применяется метод квалиметрии. Органолептические показатели продуктов относятся к неизмеримым, значения которых нельзя выразить в физических размерных шкалах. Характеристику вкуса, запаха, консистенции и других сенсорных признаков приводят в качественных описаниях. Для перевода качества в количество при экспертной оценке используют шкалы, предусматривающие характеристику признаков пищевой продукции по пяти качественным уровням [142; 203].

На **первом этапе** проведения органолептических исследований осуществлялась оценка мясного и рыбного сырья, пищевых продуктов (продукты переработки мясного сырья, пряности, плоды свежие), ранее необработанных или после обработки разными дозами ионизирующего излучения, по соответствующим характеристикам свежести на этапе постановки на опыт или на разных сроках хранения. Оценка проводилась по пятибалльной шкале. В таблице 1 приведена балльная шкала и общая характеристика уровней качества продуктов, разработанные автором.

Таблица 1 – Пятибалльная шкала и общая характеристика уровней качества продуктов при проведении органолептической оценки

Балл	Характеристика качества	Описательная характеристика признаков
5	Отлично	По соответствующему признаку продукт характеризуется положительно, недостатков не выявлено, относится к категории свежего сырья. Полное соответствие требованиям
4	Хорошо	Обнаружены незначительные недостатки, почти не оказывающие влияния на качество. Продукт относится к категории свежего сырья. Незначительные несоответствия
3	Удовлетворительно	Обнаружены недостатки, оказывающие влияние на качество, но при этом соответствующие минимальным требованиям стандарта. Продукт относится к категории свежего сырья. Заметные несоответствия
2	Неудовлетворительно	Обнаружены дефекты, в результате которых продукт хотя и не соответствует требованиям стандарта, но не утрачивает пригодности в пищу при определенной его переработке. Явные несоответствия
1	Плохо	В продукте обнаружены значительные недостатки, он относится к категории несвежего сырья и не пригоден к употреблению в пищу. Выраженные (грубые) несоответствия

На **втором этапе** органолептических исследований проводилась сравнительная оценка качества органолептических показателей контрольных (не обработанных ионизирующим излучением) и опытных (обработанных ионизирующим излучением) образцов охлажденных мясокостных полуфабрикатов отечественного производства – шейки свиной на кости, упакованной с применением МГС, на разных сроках хранения.

Для органолептической оценки полуфабрикатов в сыром виде автором диссертационного исследования предложены коэффициенты весомости в зависимости от значимости органолептических показателей качества в общей оценке (таблица 2).

Таблица 2 – Коэффициенты весомости показателей качества для сырого продукта

Показатель качества	Коэффициент весомости
Внешний вид и цвет поверхности	0,20
Мышцы на разрезе	0,15
Консистенция	0,15
Запах	0,25
Состояние жира (цвет, запах, консистенция)	0,15
Состояние сухожилий	0,10

Микробиологические показатели определяли по ГОСТ Р 54354-2011 «Мясо и мясные продукты. Общие требования и методы микробиологического анализа»; ГОСТ 10444.15-94 «Продукты пищевые. Методы определения количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов»; ГОСТ 31746-2012 (ISO 6888-1:1999, ISO 6888-2:1999, ISO 6888-3:2003) «Продукты пищевые. Методы выявления и определения количества коагулазоположительных стафилококков и *Staphylococcus aureus*»; ГОСТ 31747-2012 (ISO 4831:2006, ISO 4832:2006) «Продукты пищевые. Методы выявления и определения количества бактерий группы кишечных палочек (колиформных бактерий)»; ГОСТ ISO/TS 21872-1-2013 «Микробиология пищевых продуктов и кормов для животных. Горизонтальный метод обнаружения потенциально энтеропатогенных *Vibrio spp.* Часть 1. Обнаружение бактерий *Vibrio parahaemolyticus* и *Vibrio cholerae*»; ГОСТ ISO 21527-2-2013 «Микробиология пищевых продуктов и кормов для животных. Метод подсчета дрожжевых и плесневых грибов»; ГОСТ 28038-2013 «Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения микотоксина патулина»; ГОСТ 30538-97 «Продукты пищевые. Методика определения токсичных элементов атомно-эмиссионным методом»; ГОСТ 29185-2014 «Микробиология пищевых продуктов и кормов для животных. Методы выявления и подсчета сульфитредуцирующих бактерий, растущих

в анаэробных условиях»; ГОСТ 7702.2.6-2015 «Мясо птицы, субпродукты и полуфабрикаты из мяса птицы. Методы выявления и определения количества сульфитредуцирующих клостридий»; ГОСТ 31659-2012 «Продукты пищевые. Метод выявления бактерий рода *Salmonella*»; ГОСТ 32031-2012 «Продукты пищевые. Методы выявления бактерий *Listeria monocytogenes*»; ГОСТ 28560-90 «Продукты пищевые. Метод выявления бактерий родов *Proteus*, *Morganella*, *Providencia*»; МУК 4.2.2046-06 «Методы выявления и определения паразитических вибрионов в рыбе, нерыбных объектах промысла, продуктах, вырабатываемых из них, воде поверхностных водоемов и других объектах».

Для исследования химического состава и пищевой ценности определяли: массовую долю общей золы – по ГОСТ 31727-2012 «Мясо и мясные продукты. Метод определения массовой доли общей золы»; жир – по ГОСТ 23042-2015 «Мясо и мясные продукты. Методы определения жира»; белок – по ГОСТ 25011-2017 «Мясо и мясные продукты. Методы определения белка»; ГОСТ 31795-2012 «Рыба, морепродукты и продукция из них. Метод определения массовой доли белка, жира, воды, фосфора, кальция и золы спектроскопией в ближней инфракрасной области»; влагу – по ГОСТ 9793-2016 «Мясо и мясные продукты. Метод определения влаги»; жирнокислотный состав – по ГОСТ Р 55483-2013 «Мясо и мясные продукты. Метод определения жирнокислотного состава методом газовой хроматографии»; ГОСТ Р 52690-2006 «Продукты пищевые. Вольтамперометрический метод определения массовой концентрации витамина С».

Исследование аминокислотного состава белка проводилось методом ионообменной хроматографии на автоматическом аминокислотном анализаторе ААА 339 «Микротехна» согласно ГОСТ 34132-2017 «Мясо и мясные продукты. Метод определения аминокислотного состава животного белка». Метод основан на кислотном гидролизе белка до его полного распада на составляющие аминокислоты с последующим хроматографическим определением смеси на автоматическом аминокислотном анализаторе для выявления состава и определения массовой доли отдельных аминокислот. Количественное определение осуществляли по площади пика идентифицированных соединений аминокислот относительно градуировочной зависи-

мости, полученной при хроматографировании градуировочных растворов аминокислот в аналогичных условиях. Для определения оксипролина применялся метод, основанный на выделении L-оксипролина при кислотном гидролизе пробы продукта, проведении цветной реакции с продуктами ее окисления с образованием соединения красного цвета и фотометрическом измерении оптической плотности раствора при длине волны (558 ± 2) нм, согласно ГОСТ 23041-2015 «Мясо и мясные продукты. Метод определения оксипролина». В основу определения содержания триптофана положена цветная реакция между продуктами распада, которые образуются при обработке триптофана концентрированной соляной кислотой и паради-метиламинобензальдегидом в присутствии нитрата натрия и при соотношении интенсивности окраски с калибровочным графиком по ГОСТ 13496.21-2015.

Алгоритм исследования и качественной оценки сбалансированности аминокислотного состава белка исследуемого мясного и рыбного сырья представлен на схеме (рисунок 4).

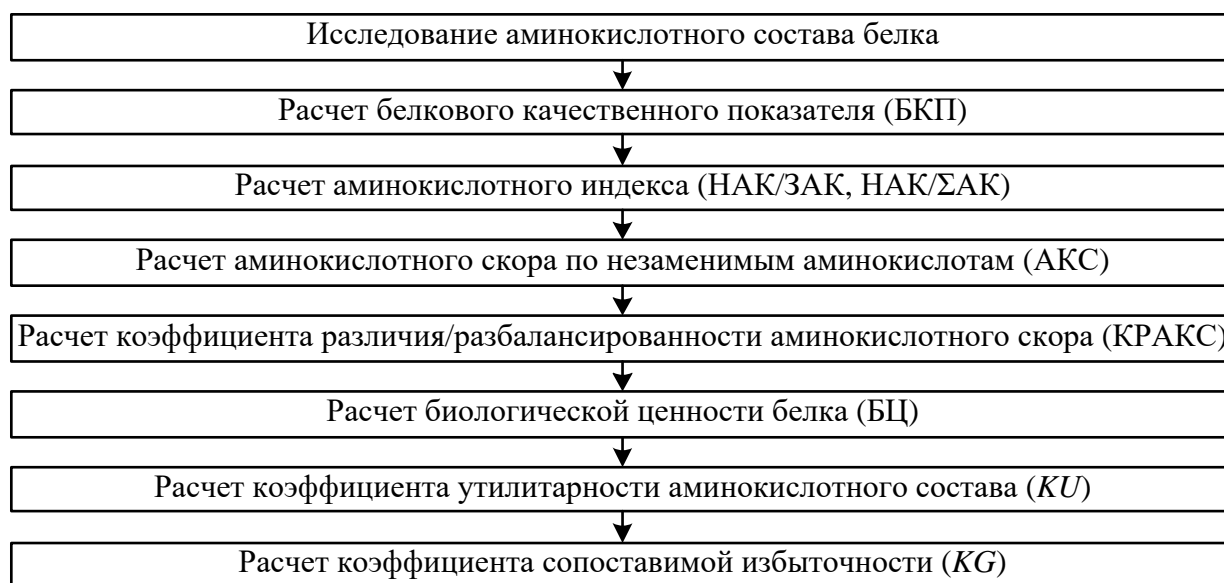


Рисунок 4 – Блок-схема расчета критериев качественной оценки сбалансированности аминокислотного состава белка

Показатели свежести определяли по кислотному числу жира – ГОСТ Р 55480-2013 «Мясо и мясные продукты. Метод определения кислотного числа» и ГОСТ

1304-76 «Жиры рыб и морских млекопитающих технические. Технические условия»; по перекисному числу жира – ГОСТ 34118-2017 «Мясо и мясные продукты. Метод определения перекисного числа», ГОСТ Р 51487-99 «Масла растительные и жиры животные. Метод определения перекисного числа» и ГОСТ ISO 27107-2016 «Жиры и масла животные и растительные. Определение перекисного числа потенциометрическим методом по конечной точке титрования»; летучие жирные кислоты – по ГОСТ 33819-2016 «Мясо и мясные продукты. Определение состава летучих жирных кислот методом газовой хроматографии» и по ГОСТ 23392-2016 «Мясо. Методы химического и микроскопического анализа свежести»; амино-аммиачный азот – по ГОСТ Р 55479-2013 «Мясо и мясные продукты. Определение амино-аммиачного азота»; рН – по ГОСТ Р 51478-99 (ИСО 2917-74) «Мясо и мясные продукты. Контрольный метод определения концентрации водородных ионов (рН)». Азот летучих оснований, белок, жир, воду, кислотность, водоудерживающую способность рыбного сырья – по ГОСТ 7636-85 «Рыба, морские млекопитающие, морские беспозвоночные и продукты их переработки. Методы анализа».

Гистологические исследования мяса проводили по ГОСТ 19496-2013 «Мясо и мясные продукты. Метод гистологического исследования».

Для определения химического состава, физико-химических и микробиологических показателей использовали нижеприведенные методы исследований:

- высушивание при температуре $(103 \pm 2) ^\circ\text{C}$ – для определения массовой доли влаги;
- сухое озоление – для определения массовой доли золы;
- минерализацию проб по Кьельдалю и фотометрическое измерение интенсивности окраски индофенолового синего, которая пропорциональна количеству аммиака в минерализате, – для определения массовой доли белка;
- гравиметрический метод с использованием экстракционного аппарата Сокслета и колориметрический с использованием фильтрующей делительной воронки – для определения массовой доли жира;
- микробиологический анализ при определении количества микроорганизмов посевом на агаризованные среды, результаты выражаются КОЕ (колониеобразую-

щая единица) в 1 г продукта, при определении количества микроорганизмов по методу НВЧ (наиболее вероятное число) – количеством клеток в 1 г продукта;

– амино-аммиачный азот – по связыванию аминогрупп и аммиака формальдегидом в нейтральной среде с последующим титрованием щелочью карбоксильных групп, количество которых эквивалентно количеству свободных аминогрупп;

– для исследования гистологии мяса – метод, основанный на определении характеристики микроструктурных показателей мясного сырья;

– кислотное число – титрованием свободных жирных кислот раствором гидроксида калия;

– перекисное число – по реакции взаимодействия продуктов окисления жиров с йодистым калием в растворе уксусной кислоты и хлороформа с последующим количественным определением выделившегося йода раствором тиосульфата натрия титриметрическим методом;

– жирнокислотный состав – путем жидкостной экстракции липидов животного происхождения органическими растворителями, позволяющей выделить 90–95 % всех клеточных липидов, и метилирования липидных триглицеридов посредством гидролиза, с последующим переводом полученных жирных кислот в метиловые эфиры и хроматографическим анализом смесей на автоматическом газовом хроматографе (метод газовой хроматографии);

– летучие жирные кислоты – методом газовой хроматографии (при выделении летучих жирных кислот из продукта паровой дистилляцией (перегонкой с водяным паром) с последующим их переводом в метиловые эфиры и разделением компонентов), а также путем титрования дистиллята гидроокисью калия.

Для расчета эффективности обработки ионизирующим излучением применяется формула согласно [198]:

$$\mathcal{E} = [(K_n - K_o) / K_n] \times 100 \%, \quad (2)$$

где \mathcal{E} – эффективность обработки, %; K_n – количество микроорганизмов в 1 г необлученного продукта; K_o – количество микроорганизмов в 1 г продукта после обработки ионизирующим излучением.

Влагосвязывающая способность (ВСС) определяется по общепринятой методике методом прессования, теплофизические характеристики (теплопроводность, температуропроводность, удельная теплоемкость) – по общеизвестной методике методом регулярного режима охлаждения [9; 94].

Для определения физико-химических и биохимических показателей методом инфракрасной спектроскопии использовали экспресс-анализатор «ФудСкан» (FoodScan Meat analyser), производственный в Дании.

Образцы сырья и пищевых продуктов обрабатывали разными дозами ионизирующего излучения в Центре радиационной стерилизации (ЦРС) Уральского федерального университета имени первого Президента России Б. Н. Ельцина линейным ускорителем электронов модели УЭЛР-10-10С2 «КОРАД» (производство – Россия) с энергией до 10 МэВ, предназначенным для обработки ионизирующим излучением продуктов питания, медицинских инструментов, заготовок термоусаживающих изделий и др. Сам излучатель находится в отдельном помещении (бункере). Отличительная особенность ускорителя УЭЛР-10-10С2 – компактность ускоряющей структуры. Обработка проводилась в закрытом помещении при естественной без принудительной вентиляции при температуре воздуха 18–19 °С, атмосферном давлении 736–748 мм рт. ст. и относительной влажности воздуха 44–60 %.

Излучатель представлен в приложении Д (рисунок Д.1). Основные характеристики пучка электронов и его рассеивания, относящиеся к технологическим параметрам согласно п. 8.2 ГОСТа Р ИСО/АСТМ 51431-2012 «Руководство по дозиметрии при обработке пищевых продуктов электронными пучками и рентгеновским (тормозным) излучением», представлены в таблице 3.

Ускорение электронов осуществляется в ускоряющей структуре – основном узле оборудования линии пучка. Ускоряющая структура представляет собой диафрагмированный волновод, замедляющий фазовую скорость высокочастотной (СВЧ) волны, ускоряющей электроны. СВЧ-энергия в структуру поступает от источника СВЧ-мощности – клистрона, а из источника электронов инжектируются электроны.

Таблица 3 – Параметры пучка ускоренных электронов линейного ускорителя УЭЛР-10-10С²

Параметр	Характеристика
Максимальная энергия ускоренных электронов, МэВ	10
Максимальный средний ток выведенного в атмосферу пучка электронов, мА	1
Диапазон регулирования энергии электронов, МэВ	8–10
Частота следования импульсов электронного тока, 1/с	50–240
Максимальный размер поля облучения на расстоянии 100 мм от выпускной фольги, мм	600 × 20
Равномерность поля облучения по длине развертки на поверхности облучаемых объектов, %	± 5
Частота сканирования электронного пучка, Гц	1–3

В начальной части структуры импульсный электронный пучок разбивается на отдельные сгустки, следующие с частотой высокочастотного поля. Сгустки движутся синхронно с волной и используют для своего ускорения энергию электрического поля волны. В результате на выходе ускоряющего волновода получают импульсы тока, состоящие из сгустков электронов с энергией до 10 МэВ. На выходе ускоряющего устройства установлен магнитоиндукционный датчик тока, с помощью которого контролируется и стабилизируется ток ускоренных электронов. Затем электроны поступают в сканирующее устройство, формирующее веерный (ленточный) электронный поток, который выводится в атмосферу через окна из тонкой титановой фольги. После этого электроны попадают на облучаемые объекты, перемещаемые транспортным устройством. Вышедший в атмосферу пучок электронов расширяется от 5–10 мм в плоскости выпускной фольги до ~180 мм на полувысоте кривой распределения тока на расстоянии ~900 мм в плоскости второго выпускного окна. В штатном рабочем режиме коробки с облучаемыми изделиями полностью поглощают электроны, вышедшие из выпускных окон. Для предотвращения нагрева пучком камер сканирующего и поворотно-сканирующего электромагнита в наладочных режимах при отсутствии коробок на выходе каждого выпускного окна установлены титановые водоохлаждаемые токоприемники, имеющие протяженные щелевые отверстия шириной 20–30 мм для выпуска электронов. Ускоритель расположен вертикально.

Транспортировка объектов осуществляется на конвейере, скорость перемещения облучаемых объектов – $(5,0 \pm 0,3)$ м/мин.

Характеристика электронного пучка и его рассеивания и способ транспортирования пищевых продуктов, характеризующие облучательное оборудование и не зависящие от вида пищевой продукции, называют рабочими параметрами согласно п. 8.3 ГОСТ Р ИСО/АСТМ 51431-2012.

Для обработки ионизирующим излучением объектов исследования размер технологической загрузки определялся размерами соответствующих загрузочных ячеек-подставок на конвейере и индивидуальными количественными характеристиками объектов согласно п. 2.2 диссертационного исследования. Объекты исследования одного вида укладывались в один слой плотно друг к другу (мясное и рыбное сырье), плоды свежие – в два слоя, пряности пачками размером 150×105 мм – вертикально в технологическую загрузку размером 600×400 мм (рисунок Д.2, приложение Д). Высота укладки в зависимости от вида объекта составляла 70–150 мм. Применяемая упаковка со строго очерченной геометрической формой и равномерным распределением продукта по объему загрузки позволила оптимизировать распределение дозы облучения в технологической загрузке в соответствии с п. 6.2.2 ГОСТ 33820-2016, п. 11.3 ГОСТ Р ИСО/АСТМ 51431-2012, п. 6.2 ГОСТ 33271-2015, п. 5.2 ГОСТ 33825-2015, п. 8.2 ГОСТ 34155-2017. Геометрия облучения: применялось одностороннее облучение с использованием двух подходов – облучение в два приема при переворачивании технологической загрузки.

Перед и после проведения технологии обработки ионизирующим излучением объекты исследования были обследованы: замерена температура в толще продукта (мясного и рыбного сырья), проверена целостность упаковки шейки свиной упакованной, проведена органолептическая оценка.

Выбор дозовой нагрузки определен следующими факторами: для ЭПР-спектрологии – согласно «Кодекс Алиментариус. Облученные продукты питания» безопасной поглощенной дозой является доза 10 кГр (п. 1.2, 1.3 настоящего диссертационного исследования); поглощенная доза всегда меньше дозы облучения, в соответствии с этим доза облучения выбрана в диапазоне от 1 до 12 кГр; для

исследования качественных характеристик пищевых продуктов приняты во внимание исследования зарубежных и отечественных ученых по разным видам пищевых продуктов (например, более чувствительны к обработке ионизирующим излучением свежие плоды и рыба охлажденная). Кроме того, после проведенной автором диссертационного исследования ЭПР-спектроскопии и органолептической оценки было установлено ухудшение качества охлажденной рыбы и яблок свежих при дозе облучения свыше 3 кГр, поэтому диапазон доз при исследовании влияния ионизирующего излучения был установлен от 1 до 3 кГр.

Для контроля дозы после обработки ионизирующим излучением использован метод фотоспектроскопии путем измерения оптической плотности облученной полимерной пленки СО ПД(7)-1/10 и СО ПД(Ф)Р-5/50 (цветовой визуальный индикатор дозы – при визуальном сравнении окраски индикатора ЦВИД со шкалой, по которой каждой дозе соответствует определенный цвет) на спектрофотометре при длине волны 512 нм относительно опорного образца ГСО (государственный стандартный образец) – СО в виде полимерных пленок однократного использования из пленочного материала по ТУ 2379-026-13271746-06 «Пленка окрашенная радиационно-чувствительная типа ПОР-2» и по ТУ 2379-006-1327176-00 «Пленка окрашенная радиационно-чувствительная типа ПОР» на основе патентной документации [158; 159] и в соответствии с требованиями ГОСТ Р ИСО/АСТМ 51431-2012 «Руководство по дозиметрии при обработке пищевых продуктов электронными пучками и рентгеновским (тормозным) излучением»; ГОСТ 34155-2017 «Руководство по дозиметрии при исследовании влияния радиации на пищевые и сельскохозяйственные продукты». При картировании дозы пленочные дозиметры размещались по всему образцу для равномерности распределения дозы.

Экспериментальные исследования для качественной и количественной идентификации проводились сразу после подготовки обработанных ионизирующим излучением образцов к исследованию методом ЭПР согласно ГОСТ Р 52529-2006 «Мясо и мясные продукты. Метод электронного парамагнитного резонанса для выявления радиационно-обработанных мяса и мясопродуктов, содержащих костную ткань»; ГОСТ 31672-2012 «Продукты пищевые. Метод электронного парамаг-

нитного резонанса для выявления радиационно-обработанных продуктов, содержащих целлюлозу»; ГОСТ 31652-2012 «Продукты пищевые. Метод электронного парамагнитного резонанса для выявления радиационно-обработанных продуктов, содержащих кристаллический сахар».

Экспериментальные исследования проводились в закрытом помещении без естественной и (или) принудительной вентиляции при температуре воздуха 18–23 °С, атмосферном давлении 736–748 мм рт. ст. и относительной влажности воздуха 44–60 %.

Выбор дозиметрической системы (оборудования) для определения поглощенной дозы обусловлен тем, что одним из эффективных и практически применимых методов исследования и идентификации радикалов, индуцированных излучением, является спектроскопия методом электронного парамагнитного резонанса. Плотность, структура, состав костной и мышечной ткани, составных частей пищевых продуктов неоднородны, поэтому поглощенная доза, определяемая по радиохромным пленкам, может отличаться от поглощенной дозы самого пищевого продукта. Кроме того, вариации поглощенной дозы пищевого продукта отличаются на поверхности (поверхностная доза), внутри и в разных частях образца, поэтому исследование средней пробы обработанных ионизирующим излучением пищевых продуктов именно методом ЭПР позволяет получить достоверные и повторяемые результаты.

В качестве рабочего дозиметра использовался портативный автоматизированный спектрометр ЭПР марки Labrador Expert X-диапазона (страна производства – Россия). Спектрометр разработан на предприятии ООО «Спектр» при содействии Института естественных наук Уральского федерального университета имени первого Президента России Б. Н. Ельцина (приложение Д, рисунок Д.3). Общие технические характеристики спектрометра ЭПР приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Общие технические характеристики спектрометра ЭПР

Тип спектрометра	Спектрометр X-диапазона
Чувствительность, спин/0,1 мТл, не более	$1 \cdot 10^{12}$
Частота сигнального канала СВЧ, ГГц	9,2
Максимальная мощность СВЧ, мВт	50
Индукция постоянного магнитного поля, Тл	$0,328 \pm 0,03$
Частота модуляции магнитного поля, Гц	$2 \div 12\ 200$
Амплитуда модуляции магнитного поля, мТл	$4,8 \div 0,001$
Абсолютная погрешность магнитного поля, мТл, не более	0,05

Исследования проводились с соблюдением следующих параметров спектрометра: частота облучения 9180–9220 МГц, диапазон магнитного поля в целом 2980–3580 Гс и для пика сигнала – 3220–3320 Гс, при этом подбирались оптимальные значения времени преобразования, амплитуды модуляции и коэффициента усиления. С целью нормализации показателя «сигнал/шум» мощность СВЧ устанавливалась в диапазоне 4–6 дБм. В качестве эталонного образца выступает высокостабильный эталон, так называемая мера КПЦ (количество парамагнитных центров) на основе оксида марганца (ОМ-008), где концентрация парамагнитных центров составляла $5,9 \cdot 10^{14}$ спин/мТл (рисунок 5). В качестве контрольных образцов исследовали образцы необработанной продукции, в которых не были зафиксированы ЭПР-спектры.

Антиоксидантную активность образцов до и после обработки ионизирующим излучением определяли потенциометрическим методом с помощью потенциометрического анализатора МПА-1 (НПВП «Ива», Россия). Рабочим электродом служил платиновый ОРП электрод (Phoenix, США) или платиновый планарный электрод (НПВП «Ива», Россия), электрод сравнения – стандартный хлорсеребряный (СИ № 56031-13).

Образцы мясного и рыбного сырья представляли собой водную вытяжку измельченной мышечной ткани в соотношении 1:10, образцы яблок – свежавыжатый сок с мякотью, образцы пряностей готовились путем экстрагирования кипящей дистиллированной водой.

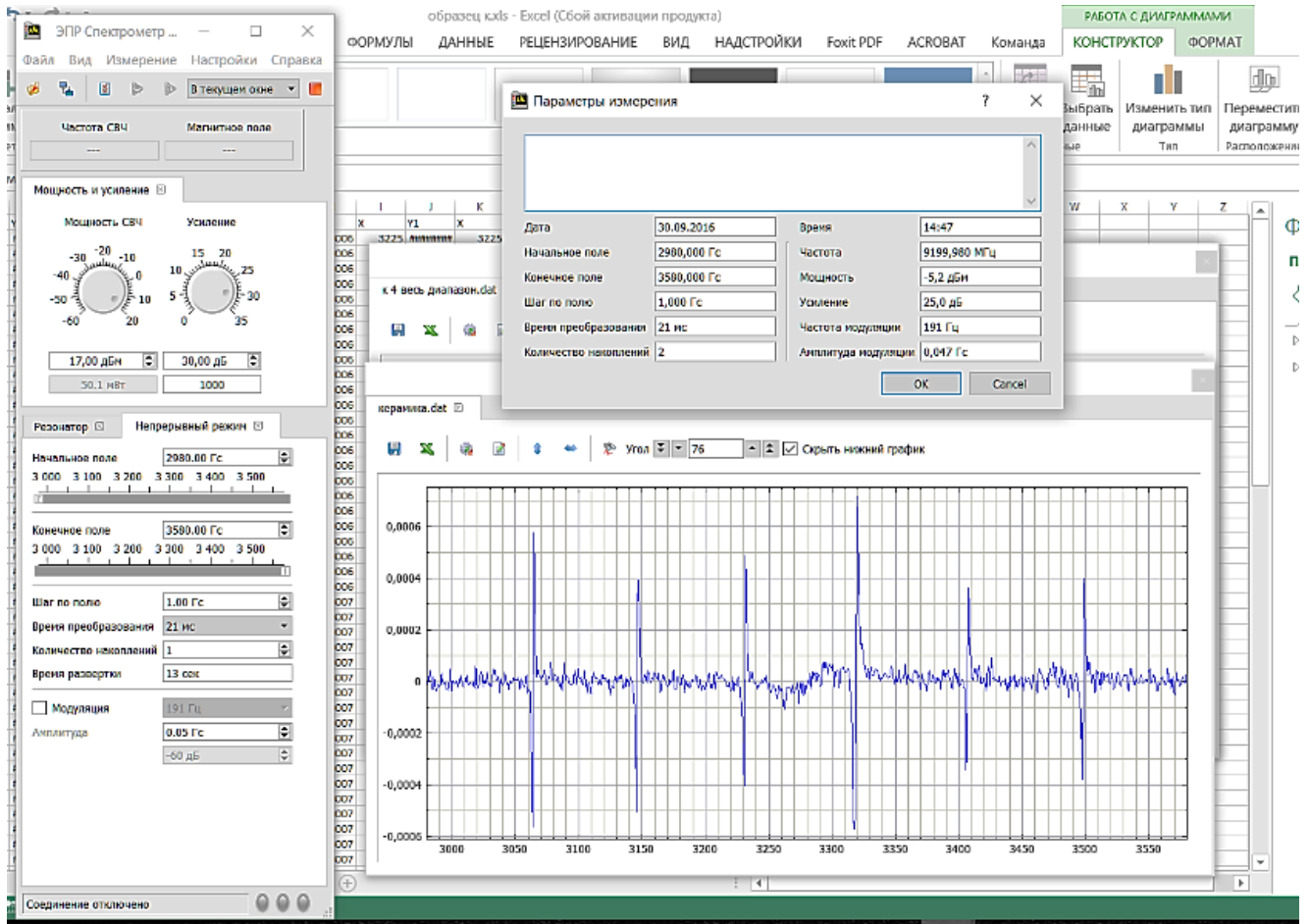


Рисунок 5 – Технологическая карта для настройки ЭПР-спектрометра к работе и ЭПР-спектр эталонного образца

В основу работы прибора положен способ определения ОА/АОА в растворах методом потенциометрии с использованием медиаторной системы [173]. Источником информации об АОА является изменение окислительно-восстановительного потенциала электродной системы до и после введения анализируемой пробы в среду, содержащую медиаторную систему $K_3[Fe(CN)_3]/K_4[Fe(CN)_6]$. Этот сдвиг – следствие изменения соотношения окисленной и восстановленной форм компонентов медиаторной системы в результате реакции: $Fe(III) + AO = Fe(II) + AO_{ox}$.

Анализатор измеряет разность потенциалов (ЭДС) между измерительным (рабочим) электродом и электродом сравнения, а также температуру исследуемого раствора (приложение Д, рисунок Д.4). Результаты измерений в режиме реального времени отображаются на дисплее анализатора.

Определение АОО осуществлялось по следующим показателям: потенциал E_1 – соотношение окисленной и восстановленной форм медиаторной системы; потенциал E_2 – соотношение окисленной и восстановленной форм после введения исследуемого образца; сдвиг потенциала ΔE ; температура образца; концентрация антиоксидантов C_x .

Исследовали теплофизические свойства мясного и рыбного сырья на опытной установке (приложение Д, рисунки Д.5, Д.6, Д.7).

Экспериментальные исследования проводили в пятикратной повторности. Статистическую обработку полученных данных проводили методом вариационной статистики с использованием коэффициента Стьюдента, стандартных компьютерных программ Microsoft Excel XP, Statistica 8.0. При обработке экспериментальных данных доверительный интервал для среднего определяли по ГОСТ Р 50779.22-2005 (ИСО 2602:1980) «Статистические методы. Статистическое представление данных. Точечная оценка и доверительный интервал для среднего». Уровень доверительной вероятности составляет 0,95 ($p \leq 0,05$). Для получения количественных и качественных показателей в ходе эксперимента применялись измерительные, органолептические (экспертные) и расчетные методы.

ГЛАВА 3. КАЧЕСТВЕННАЯ И КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПИЩЕВОЙ ПРОДУКЦИИ, ОБРАБОТАННОЙ ИОНИЗИРУЮЩИМ ИЗЛУЧЕНИЕМ, С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ЭПР

В настоящее время, по общему определению комиссии ВОЗ, не существует универсального метода обнаружения факта обработки ионизирующим излучением. Согласно научно-исследовательской программе, известной как ADMIT («Аналитические методы определения радиационной обработки пищи»), координируемой объединенным подразделением ФАО/МАГАТЭ по ядерной технике в области пищевой промышленности и сельского хозяйства, методы идентификации обработанной ионизирующим излучением пищевой продукции варьируются в зависимости от типа продуктов и должны соответствовать ряду критериев: простота, быстрота, надежность, определенная универсальность для исследования обработанных комбинированных продуктов, адаптированная стоимость, повторяемость и точность результатов. Возможно сгруппировать методы следующим образом:

- методы скрининга (для установления факта обработки ионизирующим излучением пищевой продукции), наиболее известные: флуоресцентная фильтрация путем подсчета аэробных бактерий посевом на агар на чашках Петри (чашечный подсчет); кометный метод путем оценки повреждения ДНК;

- методы детекции (для установления факта обработки ионизирующим излучением): термолюминесценция, фотостимулированная люминесценция (хемилюминесценция), метод электронного парамагнитного резонанса, газовая хроматография (по летучим веществам – алканы, алкены, алкилциклобутаны), спектрофотометрия;

- количественные методы: ЭПР.

Методы основаны на химических, физических или биологических принципах исследования. Химические методы определяются изменением химического состава – по белкам (универсальный индикатор не выявлен), по липидам (газовая хроматография по летучим веществам для исследования птицы, мяса, рыбы, специй), по углеводам (универсальный индикатор не выявлен), по нуклеиновым кислотам

(оценка повреждения ДНК требует дальнейших исследований), по витаминам (универсальный индикатор не выявлен). Физические свойства – полное электрическое сопротивление (импеданс) (для картофеля), вязкость (вискозиметрия для специй; продуктов, содержащих крахмал), термальные анализы (картофель, финики; требуют дальнейшего исследования), инфракрасный спектр (специи), электронный спиновый резонанс (ЭСР, ЭПР). Биологические методы основаны на подсчете прорастания количества обработанных ионизирующим излучением семян, на скрининге количества бактерий. Наиболее адаптированы и стандартизированы термолюминесценция, хемилюминесценция, метод ЭПР. Хемилюминесценция применяется для пряностей и сушеных овощей, результативность соответственно 63 и 65 %. Термолюминесценция – для отдельных видов специй, имеет высокую степень эффективности. Термолюминесценция предпочтительнее хемилюминесценции, результативность повышается при сочетании этих методов.

ЭПР (ЭСР) – метод прямого определения свободных радикалов, положительно испытанный на фруктах, мясе, рыбе, моллюсках, специях, креветках, птице. Имеются данные, что сигнал от образца, который был обработан ионизирующим излучением, существенно отличается от сигнала необработанного образца [276; 310; 317; 347; 355; 361; 391; 392; 438; 439], что также подтверждается нашими исследованиями. Метод ЭПР может быть использован как метод количественного определения поглощенной дозы [254; 274; 511].

По результатам многочисленных исследований ученых и исследователей установлено, что существующие аналитические методы позволяют идентифицировать продукцию, обработанную ионизирующим излучением, с разной степенью достоверности. Отмечается практическая значимость метода ЭСР (ЭПР) в качестве эффективного инструмента качественного обнаружения факта обработки ионизирующим излучением для продуктов, содержащих кости, для моллюсков, некоторых плодов и специй; в качестве количественного определения – для продуктов, содержащих костную ткань [14].

ЭПР-спектроскопия обработанных ионизирующим излучением пищевых продуктов основана на прямой регистрации параметров ЭПР-спектров веществ,

в которых присутствуют свободные радикалы, за счет мостового принципа: в одном из плеч СВЧ-моста включается измерительный СВЧ-резонатор (настроенный на частоту 9200 МГц), где в пучности магнитного поля СВЧ (в рабочей области резонатора) размещается стеклянная колба с образцом исследуемого пищевого продукта. При этом изменяется уровень синфазной составляющей отраженного от резонатора СВЧ излучения, которое проходит через второе плечо Y-циркулятора обратно в модуль СВЧ преобразователя и несет информацию о поглощении СВЧ образцом.

После настройки частоты резонатора для измерения спектра ЭПР выставляются необходимые мощность СВЧ и усиление, настраиваются параметры на вкладке «непрерывный режим» (рисунок 6) и осуществляется сам процесс измерения с последующей обработкой ЭПР-спектра (рисунок 7).

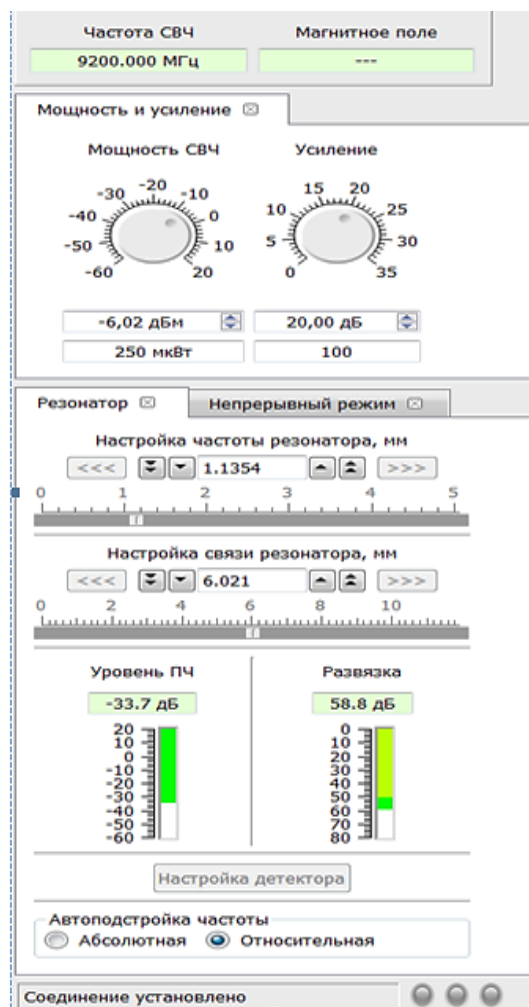


Рисунок 6 – Вид программы с настроенным резонатором

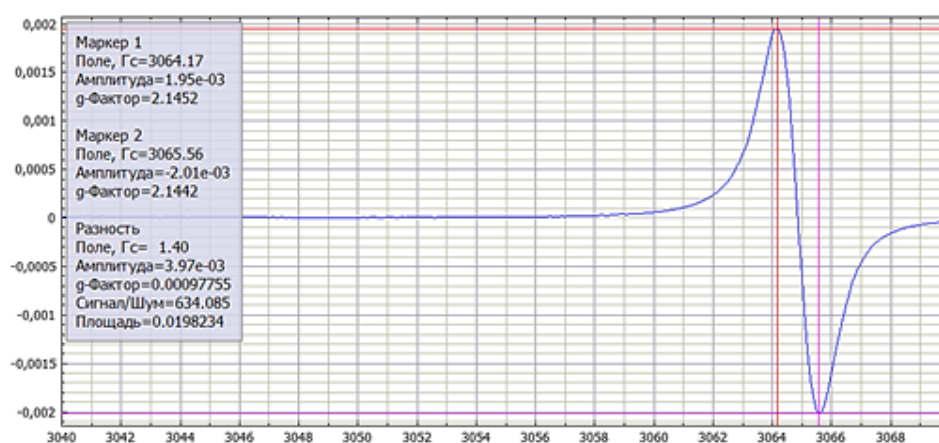


Рисунок 7 – Измерение параметров ЭПР-спектра

Методика исследования на ЭПР-спектрометре идентична для образцов мясного и рыбного сырья, пряностей и плодов свежих и переработанных, предварительно подготовленных в соответствии с особенностями пробоподготовки.

Нами были проведены исследования на потребительском рынке г. Екатеринбурга с целью установления факта присутствия или отсутствия ранее обработанной ионизирующим излучением пищевой продукции до официального ввода в действие регламентирующей нормативно-технической документации. Исследование проводилось методом ЭПР. Установлено, что мясное сырье ранее не было обработано ионизирующим излучением.

На территории Российской Федерации ионизирующая технология обработки рыбы и морепродуктов с целью продления срока годности введена с 1 февраля 2019 г. Исследование проводилось по форели охлажденной отечественного и импортного производства – по образцам мышечной (ОМТ) и костной ткани (ОКТ), образцам кожи с чешуей (ОКЧ). В результате выполненных на спектрометре ЭПР исследований не зафиксированы ЭПР-сигналы в ОКТ, ОМТ, ОКЧ форели отечественного производства.

В то же время в результате проведенных исследований установлено в форели охлажденной импортного производства появление ЭПР-спектров с амплитудой пика $(6,33 \pm 0,03) \cdot 10^{-5}$ отн. ед. в ОКТ и $(6,81 \pm 0,05) \cdot 10^{-5}$ отн. ед. в ОКЧ, что свидетельствует об облучении продукта ($p \leq 0,05$) (приложение Е, рисунок Е.1).

Полиномиальные модели ЭПР-спектров фореи импортного производства представлены следующими уравнениями:

– для ОКТ ($R^2 = 0,61$):

$$Y = 8 \cdot 10^{-13}X^6 - 2 \cdot 10^{-8}X^5 - 0,563X^3 + 1381X^2 - 2 \cdot 106X + 1 \cdot 10^9. \quad (3)$$

– для ОКЧ ($R^2 = 0,52$):

$$Y = 1 \cdot 10^{-12}X^6 - 2 \cdot 10^{-8}X^5 - 0,861X^3 + 2114X^2 - 3 \cdot 106X + 2 \cdot 10^9. \quad (4)$$

Основными поставщиками пряностей на российском рынке являются Китай, Индия, Вьетнам, Бангладеш, Турция и Грузия. По экспертным оценкам, доля отечественных производителей на российском рынке пряностей составляет около 20–30 %. С 1985 г. за рубежом пряности подвергаются обработке ионизирующим излучением, что ставит под сомнение отсутствие на территории РФ облученных пряностей. Исходя из этого были отобраны пять образцов пряностей импортного производства, реализуемых в розничной сети г. Екатеринбурга: перец черный молотый (страна производства – Вьетнам), перец белый молотый (Швеция), куркума (Индия), чили острый (Таиланд), чили жгучий (Индия), карри (Индия) для установления факта облучения представленных образцов пряностей.

Хотя ГОСТ 31672-2012 «Продукты пищевые. Метод электронного парамагнитного резонанса для выявления радиационно-обработанных продуктов, содержащих целлюлозу» апробирован разработчиками данного стандарта на перце красном молотом, в качестве методологической базы для идентификации обработанных разными дозами пряностей (в частности, чили жгучего молотого) был использован ГОСТ 31652-2012 «Продукты пищевые. Метод электронного парамагнитного резонанса для выявления радиационно-обработанных продуктов, содержащих кристаллический сахар», представленный разработчиками ГОСТ для исследования сушеных фруктов, который позволяет сделать заключение только путем визуализации полученных ЭПР-спектров с рисунками спектров, приведенных в этом ГОСТ, в ходе качественной и количественной идентификации для пряностей были учтены

и применены основные положения, которые содержатся в ГОСТ Р 52529-2006 «Мясо и мясные продукты. Метод электронного парамагнитного резонанса для выявления радиационно-обработанных мяса и мясопродуктов, содержащих костную ткань». Путем визуализации установлено, что форма ЭПР-спектров образцов пряностей, обработанных ионизирующим излучением, в большей мере по внешнему виду соответствовали ЭПР-спектру согласно ГОСТ Р 52529-2006.

При исследовании исходных образцов перца белого молотого и куркумы молотой, приобретенных на потребительском рынке г. Екатеринбурга, установлено, что данные пряности не подвергались ранее воздействию ионизирующего излучения; так как отсутствуют характерные ЭПР-спектры. Соотношение показателя «сигнал/шум» низкое (приложение Е, рисунок Е.2).

В результате исследований образцов перца черного молотого по параметрам ЭПР-сигнала (приложение Е, рисунок Е.3) установлено, что исходные образцы были ранее обработаны дозой до 10 кГр. Основные параметры ЭПР-сигнала представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Основные параметры ЭПР-сигнала пряностей ($M \pm m$) ($p \leq 0,05$)

Пряность	Амплитуда, отн. ед.	Ширина, Гс	Площадь, отн. ед.
Перец черный	$(2,49 \pm 0,03) \cdot 10^{-4}$	$13,99 \pm 0,03$	$(3,48 \pm 0,05) \cdot 10^{-3}$
Чили жгучий	$(1,03 \pm 0,02) \cdot 10^{-5}$	$3,59 \pm 0,04$	$(5,93 \pm 0,03) \cdot 10^{-5}$
	$(1,16 \pm 0,01) \cdot 10^{-6}$	$1,22 \pm 0,03$	
	$(8,96 \pm 0,01) \cdot 10^{-6}$	$2,34 \pm 0,04$	
Чили острый	$(3,03 \pm 0,03) \cdot 10^{-5}$	$8,30 \pm 0,03$	$(2,53 \pm 0,09) \cdot 10^{-4}$

Полиномиальная модель ЭПР-спектра образцов молотого черного перца, обработанных дозами до 10 кГр ($R^2 = 0,34$), выглядит следующим образом:

$$Y = 1 \cdot 10^{-11} X^5 - 9 \cdot 10^{-8} X^4 + 0,0004 X^3 - 0,9552 X^2 + 1246,5 X - 677664. \quad (5)$$

При исследовании образцов чили жгучего молотого (приложение Е, рисунок Е.4) установлены при слабом сигнале типичные многокомпонентные спектры ЭПР – мультиплет (характерны ГОСТ 31652-2012), которые свидетельствуют

о проведенной ранее обработке ионизирующим излучением дозой до 3 кГр. Основные параметры представлены в таблице 5. Соотношение «сигнал/шум» очень низкое и находится в диапазоне от 1,2236 до 2,3379. Полиномиальная модель ЭПР-спектра образцов чили жгучего молотого, обработанных дозой до 3 кГр ($R^2 = 0,12$), выглядит следующим образом:

$$Y = 1 \cdot 10^{-10}X^5 + 8 \cdot 10^{-7}X^4 + 0,0037X^3 + 8,9637X^2 - 11696X + 6 \cdot 10^6. \quad (6)$$

Путем визуализации по рисунку Е.5 (приложение Е) видно, что образцы чили острого молотого были обработаны ранее дозой ионизирующего излучения до 4 кГр. Основные параметры представлены в таблице 5. Полиномиальное уравнение ЭПР-спектров образцов чили острого молотого, обработанных дозой 4 кГр ($R^2 = 0,84$), представлено следующим образом:

$$Y = 7 \cdot 10^{-13}X^4 + 3 \cdot 10^{-9}X^3 - 8 \cdot 10^{-6}X^2 + 0,0103X - 5,626. \quad (7)$$

Образцы свежих и переработанных плодов и ягод импортного производства, имеющих разные составные части (мякоть, кожица, кожура, семена), исследовались следующим образом: у земляники сушеной отделялись мякоть и семечки с остаточным содержанием мякоти; у изюма – кожица и мякоть; у лайма – кожура; у банана красного отдельно исследовались кожура и мякоть.

При исследовании земляники сушеной, изюма, банана красного свежего и лайма установлено отсутствие ЭПР-сигналов в образцах мякоти земляники сушеной и банана красного свежего; в кожуре лайма; в образцах мякоти и кожицы изюма. В то же время в семечках земляники сушеной зафиксированы ЭПР-сигналы с амплитудой пика $(6,61 \pm 0,09) \cdot 10^{-5}$ отн. ед. при ширине $(7,75 \pm 0,04)$ Гс и площади $(4,61 \pm 0,11) \cdot 10^{-4}$ отн. ед. ($p \leq 0,05$) (приложение Е, рисунок Е.6), что свидетельствует о факте облучения дозой до 3 кГр.

В результате исследований кожуры банана красного (приложение Е, рисунок Е.7) установлено, что исходные образцы были ранее обработаны дозой до 10 кГр. Отмечается наличие характерного ЭПР-сигнала – синглета, отличающегося

одной линией поглощения, в диапазоне магнитного поля 3275–3282 Гс с высоким узким пиком ЭПР-сигнала со значением $(1,66 \pm 0,04) \cdot 10^{-4}$ отн. ед. при ширине $(6,29 \pm 0,02)$ Гс, площадь ЭПР-сигнала равна $(1,54 \pm 0,01) \cdot 10^{-3}$ отн. ед. ($p \leq 0,05$).

На основании полученных экспериментальных данных установлено, что импортная охлажденная рыба, перец черный молотый, чили жгучий, чили острый, банан красный и земляника сушеная, присутствующие на потребительском рынке Свердловской области, были обработаны ионизирующим излучением до того, как официального разрешения присутствие на территории России облученной продукции, что нарушает российское законодательство. До потребителей не доведена информация о ранее проведенной обработке пищевой продукции ионизирующим излучением. В нарушение требований ГОСТ 33800-2016 «Продукция пищевая облученная. Общие требования к маркировке» отсутствует информация о проведенной радиационной обработке.

3.1 Математическое моделирование экспериментальных условий

Разработанная нами методика количественного определения поглощенной дозы ионизирующего излучения основана на инструментальных методах, в частности методе ЭПР. Для оперативного контроля и оценки технологического качества при обработке ионизирующим излучением технологической загрузки пищевой продукции проведено картирование поглощенной дозы.

Для установления числовых значений и расположения областей максимальной и минимальной поглощенных доз для выбранной конфигурации технологической загрузки при определенных рабочих параметрах (скорость движения, энергии пучка, тока пучка, ширины сканирования согласно таблице 3, п. 2.3 диссертации) построены карты поглощенной дозы. При картировании доз ионизирующего излучения пленочные дозиметры размещались в каждой технологической загрузке: под объектами в нижней части коробки через каждые 5 см, аналогичным образом

в верхней части загрузки на ее поверхности (вдоль центральной оси верхней/нижней поверхностей и по краям загрузки при ориентации по ходу движения конвейера) для всех объектов исследования; кроме того, между объектами в местах пустот на расстоянии $1/2$ высоты технологической загрузки для исследования равномерности распределения поверхностной дозы (для плодов свежих и пряностей молотых в потребительской упаковке). На рисунке Ж.1 (приложение Ж) представлены карты распределения поглощенных доз в технологической загрузке в двух горизонтальных проекциях: для верхней/нижней поверхностей технологической загрузки с более однородным распределением дозы (средний коэффициент 0,989 к дозе облучения) и для срединной части технологической загрузки (б, в) (средний коэффициент – соответственно 0,952 и 0,946 к дозе облучения).

Ширина сканирования пучка ускоренных электронов превышала ширину загрузки, что позволило установить высокую эффективность использования электронного пучка. В то же время установлены более низкие показатели доз облучения у боковых краев технологической загрузки на 2,2 % по сравнению с центром с высокой степенью достоверности 0,928 на верхней/нижней поверхности технологической загрузки и на 3,7 % соответственно в срединной части загрузки с высоким уровнем достоверности 0,918.

Максимальная концентрация ионизирующего излучения группируется в центре поверхности, равномерно рассеиваясь по мере отдаления от центра, что свидетельствует о релевантности подбора рабочего расстояния от источника излучения до исследуемых образцов и об адекватной юстировке используемых в исследовании приборов. Отмеченные моменты позволяют выполнить экономико-математический анализ полученных результатов, включающий моделирование ситуации и построение прогностических предположений.

Объективная лимитированность набора учитываемых параметров налагает ограничения на возможность универсального использования построенных моделей, однако при сохранении базовых условий, сформировавшихся на момент исследования, модели могут быть использованы для текущего анализа и реализации прогнозных функций.

Исследование включало построение и анализ экономико-математических моделей линейного и нелинейного типов на основе вариаций представления как зависимой, так и факторной переменных.

Математическая модель нелинейной функции (\arccos) для верхней/нижней поверхностей технологической загрузки (а) имеет следующий вид:

$$\text{Arccos(Доза)} = -0,0699 + 0,00905 \cdot \sqrt{\delta x^2 + \delta y^2}, \quad (8)$$

где δx – изменение координаты длины технологической загрузки (разность расстояния от каждой точки до ее центра); δy – изменение координаты ее ширины.

Характеристики качества модели: связь между реальными и модельными данными тесная (коэффициент корреляции равен 0,828, доля объясненной дисперсии составляет 68,62%); используемая выборка репрезентативна (статистика Фишера равна 251,451, значимость $F = 0$); параметры модели статистически значимы (достоверны) ($P(a) = 0, P(b) = 0$).

Построенная модель является качественной и может быть использована для прогнозирования. Вместе с тем модель может быть усовершенствована за счет исключения статистических выбросов и включения в состав объясняющих переменных дополнительных показателей, таких как физико-химические характеристики исследуемых объектов.

Математическая модель нелинейной функции (\arccos) для серединной части технологической загрузки (б) имеет следующий вид:

$$\text{Arccos(Доза)} = 0,20501 + 0,00487 \cdot \sqrt{\delta x^2 + \delta y^2}. \quad (9)$$

Коэффициент корреляции равен 0,809, доля объясненной дисперсии – 65,48 %. С учетом наличия остальных признаков качества (репрезентативность выборки, статистическая значимость параметров регрессии) модель может быть признана качественной и пригодной для прогнозирования при отсутствии в ней статистических выбросов.

Для серединной части технологической загрузки (б) объектов исследования, отличающихся однородностью и одинаковой плотностью по всей массе продукта, может быть рассмотрена следующая модель:

$$\text{Arccos}(\text{Доза}) = 0,20658 + 0,00373 \cdot (\delta x + \delta y). \quad (10)$$

Коэффициент корреляции равен 0,862, доля объясненной дисперсии составляет 74,29 %. Модель также является качественной и может использоваться для целей прогнозирования, несмотря на два статистических выброса вверх.

Для серединной части технологической загрузки (в) объектов с неоднородной структурой либо нетипичной конфигурацией (размеры, плотность, состав и т. п.) исследования в тех же условиях дали менее удовлетворительный результат. Построенные математические модели нельзя признать полностью качественными, хотя они дают представление о характере зависимости дозы от учитываемых параметров и при необходимости могут служить исходной базой для дальнейших исследований. Более высокое качество также демонстрируют нелинейные модели.

Наиболее приемлемая из полученных моделей имеет следующий вид:

$$\text{Arccos}(\text{Доза}) = 0,2474 + 0,002783 \cdot (\delta x + \delta y). \quad (11)$$

Характеристики качества модели: связь между реальными и модельными данными средняя (коэффициент корреляции равен 0,521, доля объясненной дисперсии составляет 27,19 %); используемая выборка репрезентативна (статистика Фишера равна 42,936, значимость $F = 0$); параметры модели статистически значимы (достоверны) ($P(a) = 0$, $P(b) = 0$). В модели присутствует четыре статистических выброса вверх.

Немного уступает данной модели по показателям качества следующая математическая модель:

$$\text{Arccos}(\text{Доза}) = 0,24855 + 0,00353 \cdot \sqrt{\delta x^2 + \delta y^2}. \quad (12)$$

Характеристики качества модели: связь между реальными и модельными данными средняя при коэффициенте корреляции 0,475 и доле объясненной дисперсии 22,54 %; используемая выборка репрезентативна (статистика Фишера – 33,455, значимость $F = 0$); параметры модели статистически значимы (достоверны) ($P(a) = 0$, $P(b) = 0$).

Для оптимизации математических моделей, описывающих неоднородные биологические объекты, ввиду невозможности модификации непосредственно образца возможна апробация вероятностных моделей биологических объектов с помощью реконструирования расчетных идеальных пищевых продуктов с заданными технологическими параметрами.

Таким образом, выполнено прогнозное моделирование расчетной поверхностной поглощенной дозы ионизирующего излучения в зависимости от технологических параметров и видов пищевой продукции, результаты которого применимы при обработке разных видов пищевой продукции в целях обеспечения гарантии выполнения требований по поглощенной дозе для конкретного продукта и сохранности пищевой продукции, обработанной ионизирующим излучением.

3.2 Разработка адаптированной методики пробоподготовки разных видов пищевых продуктов и продовольственного сырья

Нами адаптирована методика пробоподготовки для образцов костной ткани разных видов сельскохозяйственных животных, птицы и рыбы с целью дальнейшей идентификации обработанной ионизирующим излучением пищевой продукции, содержащей костную ткань. Так как метод ЭПР эффективен для выявления продуктов питания, обработанных ионизирующим излучением, выдвинута гипотеза, что идентификацию обработанной пищевой продукции, в частности мяса и рыбы, возможно проводить также по мышечной ткани и коже с чешуей. Для этого впервые разработана методика пробоподготовки для ОКЧ и ОМТ. Согласно предложенной

методике образцы мышечной ткани готовятся из мышечной ткани мясного и рыбного сырья, образцы кожи и чешуи – соответственно из кожи и чешуи рыбы с последующим измельчением.

Для идентификации исходного сырья и пищевых продуктов и проведения качественной и количественной идентификации после обработки разными дозами ионизирующего излучения проводилась подготовка образцов к исследованию методом ЭПР согласно ГОСТ Р 52529-2006, ГОСТ 31672-2012, ГОСТ 31652-2012. Обработку ионизирующим излучением проводили для мясного и рыбного сырья, пряностей, плодов и ягод свежих и переработанных.

Образцы, имеющие разные компоненты, исследовались по составным частям. Образцы костной ткани мясного и рыбного сырья обозначали аббревиатурой ОКТ, образцы мышечных тканей – ОМТ, образцы кожи с чешуей (для рыбы) – ОКЧ.

При исследовании мясного и рыбного сырья за основу методики пробоподготовки были взяты положения ГОСТ Р 52529-2006. Процедура подготовки ОКТ осуществлялась в соответствии с п. 6.2–6.4 вышеназванного стандарта согласно усовершенствованной методике пробоподготовки с целью повышения эффективности процедуры идентификации обработанной ионизирующим излучением пищевой продукции. Далее в тексте диссертационной работы выделены курсивом положения, отличающиеся от положений ГОСТ Р 52529-2006.

Образцы костной ткани были приготовлены из предварительно очищенных от мякотной части трубчатых и *пластинчатых* костей (для говядины, свинины, мяса птицы, мяса косули) и *позвоночника* (для рыбы), образцы мышечной ткани – *из мышечных частей мясного и рыбного сырья, образцы кожи и чешуи – из кожи и чешуи рыбы.*

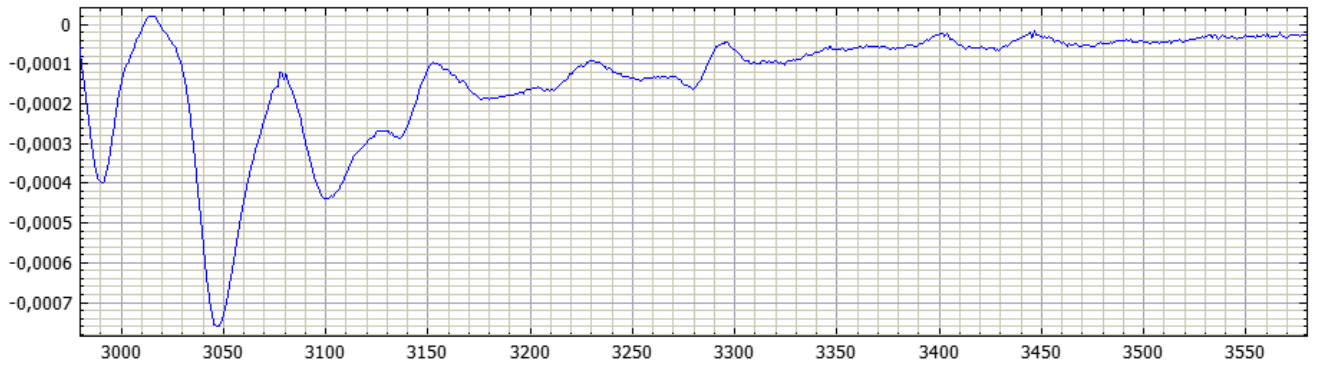
Трубчатые и пластинчатые кости мясного сырья и *позвоночник рыбы* очищают от мякотной ткани (*мышечной, жировой*), выпиливают *с помощью специализированных технических средств и приспособлений* срединную часть кости длиной 3–5 см, затем полностью очищают скальпелем от остатков мяса, сухожилий, пленок, костного мозга. Кость промывают дистиллированной водой и обсушивают при

помощи фильтровальной бумаги. Затем сушат в сушильном шкафу при температуре $(40 \pm 1)^\circ\text{C}$ в течение (27 ± 3) ч до содержания остаточной влаги 3,0–4,5 %, охлаждают при комнатной температуре в течение 30–45 мин, измельчают до площади отдельных фрагментов костной ткани не более $0,12 \text{ мм}^2$ (размер фрагментов не более $(0,4 \times 0,4 \times 0,4) \pm 0,1$ мм) при общей массе не менее 0,05 г. Метод ЭПР средней пробы обеспечивает высокую степень достоверности и повторяемость результатов исследований.

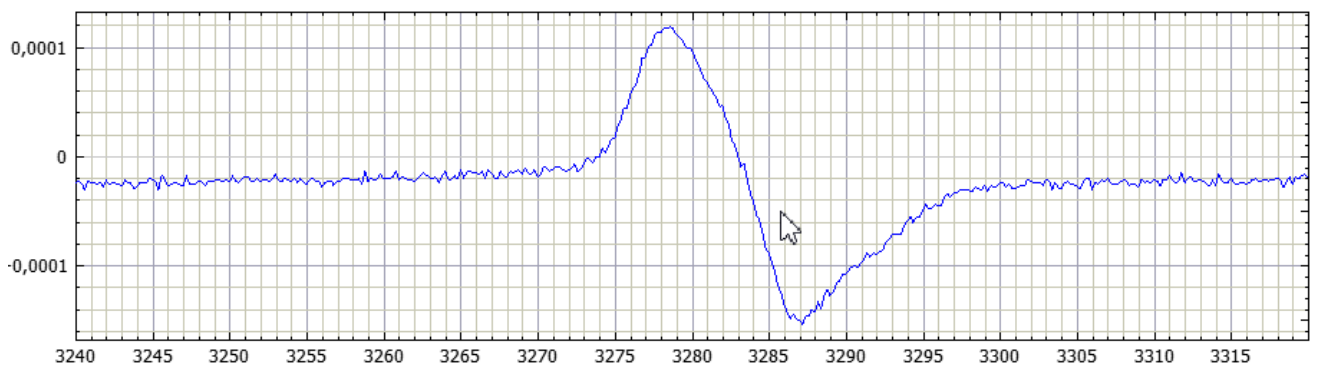
Адаптированная методика подготовки ОКТ для исследований отличается увеличением продолжительности сушки образцов до (27 ± 3) ч и введением параметра «остаточная влага» в отличие от требований нормативной документации, что позволяет получить устойчивые ЭПР-спектры для всех опытных образцов и оптимизировать технические приемы при работе на ЭПР-спектрометре за счет сокращения времени преобразования, увеличения скорости регистрации сигналов, уменьшения значений показателя «сигнал/шум» и, соответственно, обеспечения повторяемости результатов ЭПР-спектроскопии. Аналогичная методика разработана для ОКЧ рыбного сырья.

На рисунке 8 представлены ЭПР-сигналы образцов костной ткани говядины, обработанных дозой ионизирующего излучения 12 кГр, подготовленные согласно требованиям ГОСТ Р 55529-2006 (а): температура сушки $(35 \pm 5)^\circ\text{C}$, продолжительность сушки 2 ч, а также согласно предложенной адаптированной методике (б): температура $(40 \pm 1)^\circ\text{C}$, продолжительность сушки (27 ± 3) ч. В результате изменения параметров пробоподготовки по форме ЭПР-спектра (б) возможно путем визуализации с высокой степенью достоверности идентифицировать данный образец как обработанный ионизирующим излучением, в отличие от образца (а).

Разработанная нами методика подготовки образцов мышечной ткани для эксперимента предполагает увеличение продолжительности сушки в отличие от требований ГОСТ Р 52529-2006, что позволяет получить стабильные ЭПР-спектры и, соответственно, достоверные повторяемые результаты. ОМТ заключается в следующем: мышечная ткань измельчается и сушится при температуре $(40 \pm 1)^\circ\text{C}$ в течение (27 ± 3) ч до содержания влаги в продукте 16–20 %.



а – методика по ГОСТ Р 52529-2006



б – адаптированная методика

Рисунок 8 – ЭПР-спектры ОКТ говядины, обработанной дозой ионизирующего излучения 12 кГр

Затем исследуемые образцы ОКТ, ОКЧ и ОМТ взвешивают с *точностью до третьего десятичного знака* и помещают в промаркированную кварцевую ампулу в таком количестве, чтобы высота насыпки образца была $(10,0 \pm 0,5)$ мм. Кварцевая ампула размещалась в рабочей зоне резонатора на фиксированной глубине (85 ± 3) мм. ЭПР-спектр определяют сразу после подготовки исследуемых образцов.

Измерение и обработку спектров ЭПР в режиме автоподстройки частоты по мгновенной частоте измерительного резонатора в границе номинального значения 9200 МГц осуществляли с использованием специализированной компьютерной программы к спектрометру ЭПР. Параметры ЭПР-спектра отражались в автоматическом режиме на мониторе компьютера. Для каждого исследуемого образца определяли *g*-фактор, амплитуду (отн. ед.), ширину линии поглощения (Гц), площадь

сигнала (отн. ед.). Идентичные параметры с аналогичными единицами измерения определяются на спектрометрах немецкого производителя «Bruker elexsys e500», что позволяет сопоставлять результаты измерений.

Образцы пряностей молотых для ЭПР-спектроскопии не подвергаются дополнительному помолу и высушиванию. В соответствии с п. 6.3 ГОСТ 31672-2012 «Продукты пищевые. Метод электронного парамагнитного резонанса для выявления радиационно-обработанных продуктов, содержащих целлюлозу» образцы должны помещаться в кварцевую ампулу высотой не менее 15–20 мм. В ходе подготовки и проведения эксперимента установлено, что высота образцов пряностей, помещенных в кварцевую ампулу, может быть *10 мм*, что также позволяет идентифицировать обработанные ионизирующим излучением пряности с высокой степенью достоверности.

Для проведения исследований плодов/ягод свежих и переработанных с учетом требований ГОСТ 31672-2012 «Продукты пищевые. Метод электронного парамагнитного резонанса для выявления радиационно-обработанных продуктов, содержащих целлюлозу» и ГОСТ 31652-2012 «Продукты пищевые. Метод электронного парамагнитного резонанса для выявления радиационно-обработанных продуктов, содержащих кристаллический сахар» подготовка образцов проводилась по разным составным частям.

После отделения в землянике семян от мякоти семена промывают дистиллированной водой, затем выкладывают на фильтрованную бумагу и сушат в сушильном шкафу при температуре $(40 \pm 5) ^\circ\text{C}$ в течение 2–3 ч. Семена не измельчаются. Мякоть не подвергается дополнительной сушке, ее мелко измельчают. Кожуру лайма сушат в сушильном шкафу при температуре $(40 \pm 5) ^\circ\text{C}$ в течение 3–4 ч и затем мелко измельчают. У банана красного отделяется кожура и мякоть, кожуру зачищают от внутреннего слоя, подсушивают в сушильном шкафу при температуре $(40 \pm 5) ^\circ\text{C}$ в течение 3–4 ч и затем мелко измельчают. Мякоть банана сушат 5–6 ч. В яблоке свежем и изюме исследуются мякоть и кожица. Кожица очищается от мякоти и подсушивается при температуре $(40 \pm 5) ^\circ\text{C}$ в течение 2–3 ч. Мякоть сушится

5–6 ч. Исследования проводились в пятикратной повторности. Уровень доверительной вероятности – 0,95 ($p \leq 0,05$).

Таким образом, пробоподготовка зависит от вида пищевого продукта и вида его составной части. Если образец будет недостаточно сухим, то затрудняется настройка резонатора спектрометра. Сушку необходимо проводить при низких положительных температурах. Содержание влаги в образцах может повлиять на интенсивность ЭПР-сигнала. Разработанная и адаптированная методика пробоподготовки позволяет осуществлять идентификацию по разным видам пищевой продукции и ее составным частям с высокой степенью достоверности и получить устойчивые ЭПР-спектры в многократной повторности.

3.3 Разработка методики количественного определения поглощенной дозы ионизирующего излучения

В экспериментальных исследованиях за дозу облучения принимали величину, используемую для оценки степени воздействия ионизирующего излучения на исследуемые образцы; за поглощенную дозу – величину энергии ионизирующего излучения, поглощенного облучаемым образцом. В результате теоретического исследования научно-технической информации установлено, что вопросы сравнительной ЭПР-спектроскопии обработанной разными дозами пищевой продукции по ее составным частям путем визуализации и количественного сопоставления параметров ЭПР-сигналов остаются неизученными. При осуществлении дозиметрии путем картирования согласно требованиям руководств по дозиметрии [53; 54; 56] фиксируется поглощенная доза рабочего дозиметра и отсутствует возможность для установления поглощенной дозы самого продукта со сложной структурой (костная ткань, мышечная ткань, кожа, чешуя, кожура, мякоть и др.). В ГОСТ 31672-2012 «Пищевые продукты. Метод электронного парамагнитного резонанса для выявления радиационно-обработанных продуктов, содержащих целлюлозу» и ГОСТ 31652-2012

«Пищевые продукты. Метод электронного парамагнитного резонанса для выявления радиационно-обработанных продуктов, содержащих кристаллический сахар» отсутствует методика определения поглощенной дозы ионизирующего излучения. В соответствии с ГОСТ Р 52529-2006 «Мясо и мясные продукты. Метод электронного парамагнитного резонанса для выявления радиационно-обработанных мяса и мясопродуктов, содержащих костную ткань» можно установить только факт обработки мяса и мясопродуктов дозой более 1 кГр, но не представляется возможным установить, какое количество энергии ионизирующего излучения поглощено пищевой продукцией. Можно предположить, что необходима сравнительная спектроскопия и разработка количественного метода, позволяющего определить поглощенную дозу для конкретного продукта или его составных частей.

Нами впервые разработана методика количественного определения поглощенной дозы ионизирующего излучения для обработанной разными дозами пищевой продукции. Определение поглощенной дозы проводили расчетным путем по адаптированной формуле в соответствии с ГОСТ Р 52529-2006. В связи с тем, что обработка параметров ЭПР-сигнала при проведении экспериментальных исследований в ходе ЭПР-спектроскопии осуществлялась в автоматическом режиме (в отличие от регламентируемых требований ГОСТ Р 52529-2006), нами были внесены соответствующие корректирующие изменения в единицы измерения параметров ЭПР-сигнала согласно специализированному компьютеризированному программному обеспечению к ЭПР-спектрометру: единица измерения КПЦ соответствовала эталонному образцу – $5,9 \cdot 10^{14}$ спин/мТл, интенсивность сигнала ЭПР эталонного образца 3-й компоненты и площадь сигнала ЭПР образца рассчитывали в относительных единицах. В качестве переменной в расчетной формуле вместо амплитуды ЭПР-сигнала предложен более значимый показатель – площадь ЭПР-сигнала, измеряемый также в относительных единицах. Показатель площади ЭПР-сигнала получен при исследовании на ЭПР-спектрометре надлежаще подготовленных образцов костной и мышечной ткани мясного сырья и мясопродуктов согласно разработанной нами методике пробоподготовки.

В настоящее время по формуле, приведенной в ГОСТ Р 52529-2006, невозможно рассчитать дозу облучения, так как единицы измерения интенсивности сигналов ЭПР не соответствуют единицам измерения, зафиксированным в программном обеспечении ЭПР-спектрометров. Поэтому внесенные изменения позволили расчетным экспресс-способом установить собственно факт обработки ионизирующим излучением и вычислить величину поглощенной дозы для исследуемых объектов, в том числе для исследуемого мясного сырья (говядина, свинина, мясо косули и мясо птицы) по различным составным частям (костная и мышечная ткань) согласно унифицированной формуле

$$D = \frac{KЦП \times S}{M \times L_{\text{Э}}} \times 10^{-14}, \quad (13)$$

где D – поглощенная доза, кГр; $KЦП$ – количество парамагнитных центров; S – значение площади сигнала ЭПР образца, отн. ед.; M – масса образца, г; $L_{\text{Э}}$ – интенсивность сигнала ЭПР эталонного образца, отн. ед.

Математическая модель расчета поглощенной дозы ионизирующего излучения показывает прямо пропорциональную зависимость от площади ЭПР-сигнала, которая обусловлена такими параметрами, как амплитуда и ширина ЭПР-сигнала.

Ввиду отсутствия нормативной документации для выявления обработанного ионизирующим излучением рыбного сырья методом ЭПР математическая модель расчета поглощенной дозы была апробирована по разным составным частям рыбы (карп охлажденный): костная ткань, мышечная ткань, кожа с чешуей, которые были исследованы после обработки разными дозами ионизирующего излучения и соответствующей пробоподготовки на ЭПР-спектрометре для получения такого показателя, как площадь ЭПР-сигнала.

В образцах пряностей молотых и плодов свежих определение поглощенной дозы проводилось согласно предложенной методике количественного определения поглощенной дозы по образцам обработанных разными дозами ионизирующего излучения молотых пряностей (перец черный, перец белый, куркума, чили острый,

чили жгучий) и образцам кожицы свежих яблок после обработки разными дозами ионизирующего излучения и соответствующей пробоподготовки по разработанной нами методике.

В результате соответствующих математических расчетов по предложенной формуле установлено, что разработанная методика количественного определения поглощенной дозы может быть адаптирована к разным видам пищевой продукции, обработанной ионизирующим излучением: мясному сырью, охлажденной рыбе, пряностям молотым и плодам свежим, после соответствующей пробоподготовки согласно методике, представленной в п. 3.2 настоящего исследования.

3.4 Качественная и количественная идентификация охлажденного мясного сырья

Отсутствие методики идентификации обработанного ионизирующим излучением мясного сырья, не содержащего костную ткань, уменьшает возможности для его идентификации. Исходя из этого экспериментальные исследования и спектроскопия мясного сырья нами осуществлялись как по костной ткани (ОКТ), так и по мышечной ткани (ОМТ) с целью адаптации методики проведения исследования (пробоподготовки согласно п. 3.2), приведения доказательной базы для возможной идентификации по образцам мышечной ткани и разработки методики количественного определения поглощенных доз согласно п. 3.3.

До начала эксперимента контрольные образцы мясного сырья (говядина, свинина, мясо птицы, мясо косули) были исследованы методом ЭПР для подтверждения или опровержения факта предварительной обработки. Контрольные образцы охлажденного мясного сырья отечественного производства, и мяса косули промыслового забоя и охлажденных мясопродуктов (шейка свиная) не были обработаны ионизирующим излучением, что подтверждается отсутствием характерных ЭПР-спектров в ОКТ соответствующих объектов исследования (приложение Е, рисунок Е.8).

В ходе эксперимента образцы мясного сырья и мясопродуктов подвергались воздействию ионизирующего излучения в интервале от 1 до 12 кГр согласно п. 2.3.

На рисунке 9 и в приложении Е (рисунки Е.9–Е.12) можно увидеть, насколько различны спектры ЭПР ОКТ при обработке (в нашем случае – дозой 12 кГр) по сравнению с необработанными образцами. В контрольных образцах говядины, свинины, мяса птицы и косули, шейки свиной в результате исследований спектры ЭПР не зафиксированы.

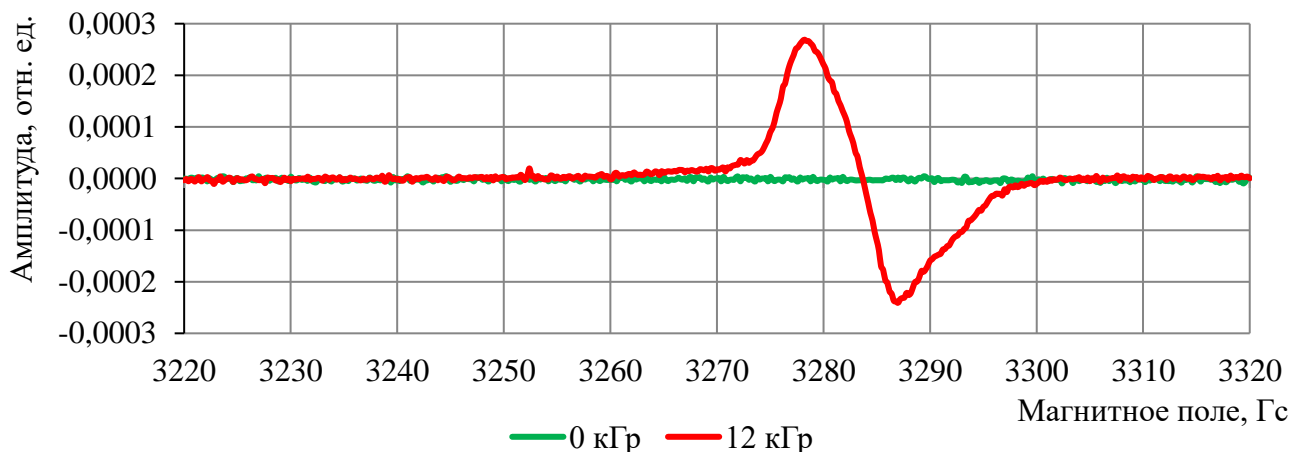


Рисунок 9 – Спектры необработанных и обработанных дозой 12 кГр ОКТ говядины

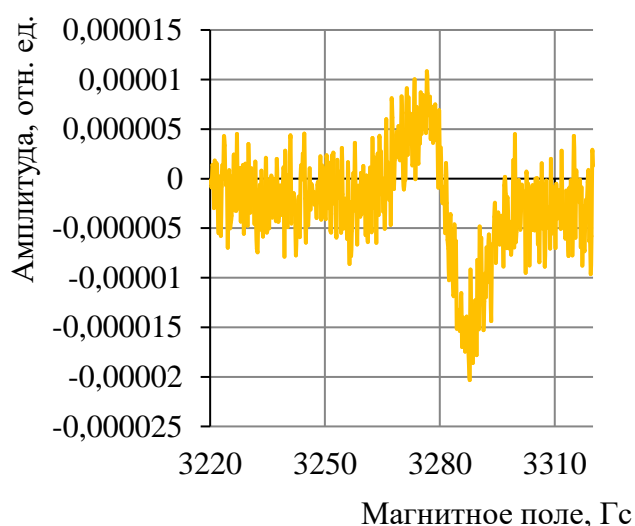
При исследовании обработанных дозой 12 кГр ОКТ говядины (g -фактор $2,0026 \pm 0,0001$) отмечается наличие характерного ЭПР-сигнала в диапазоне поля 3260–3300 Гс с амплитудой пика $(5,08 \pm 0,01) \cdot 10^{-4}$ отн. ед. и шириной сигнала $(8,32 \pm 0,12)$ Гс, площадь пика равна $(6,94 \pm 0,02) \cdot 10^{-3}$ отн. ед. ($p \leq 0,05$).

После обработки ОКТ свинины дозой 12 кГр (g -фактор $2,0002 \pm 0,0001$) в диапазоне поля 3260–3285 Гс появляется четкий ЭПР-сигнал с амплитудой пика $(4,8 \pm 0,01) \cdot 10^{-4}$ отн. ед., шириной сигнала $(8,38 \pm 0,02)$ Гс и площадью пика $(6,73 \pm 0,29) \cdot 10^{-3}$ отн. ед. ($p \leq 0,05$) (приложение Е, рисунок Е.9). Обработка ОКТ мяса птицы дозой 12 кГр (g -фактор $2,0029 \pm 0,0001$) (приложение Е, рисунок Е.10) приводит к появлению ЭПР-сигнала с амплитудой $(1,11 \pm 0,01) \cdot 10^{-4}$ отн. ед., шириной $(12,29 \pm 0,01)$ Гс и площадью $(3,68 \pm 0,04) \cdot 10^{-3}$ отн. ед. ($p \leq 0,05$). При исследовании ОКТ мяса косули, обработанных такой же дозой (g -фактор

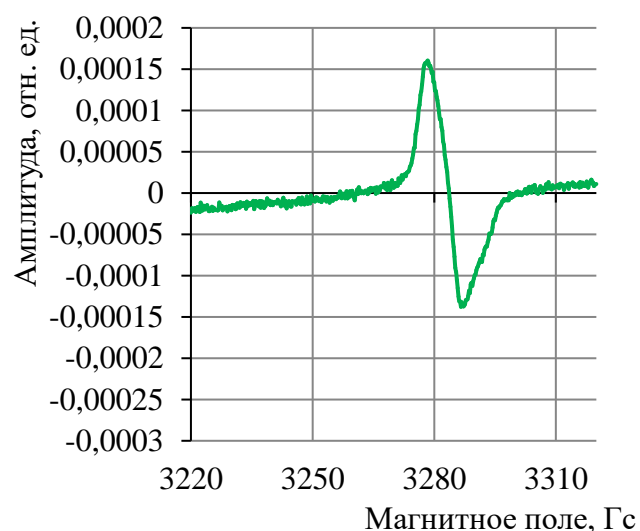
$2,0021 \pm 0,0002$), отмечается присутствие четко выраженного ЭПР-сигнала в диапазоне поля 3270–3300 Гс с амплитудой $(7,46 \pm 0,12) \cdot 10^{-4}$ отн. ед., шириной $(9,22 \pm 0,14)$ Гс, площадью пика $(2,39 \pm 0,02) \cdot 10^{-3}$ отн. ед. ($p \leq 0,05$) (приложение Е, рисунок Е.11). После обработки ОКТ шейки свиной дозой 12 кГр (g -фактор $2,0020 \pm 0,0001$) в диапазоне поля 3470–3560 Гс появляется четкий ЭПР-сигнал с амплитудой $(1,35 \pm 0,07) \cdot 10^1$ отн. ед., шириной $(8,96 \pm 0,09)$ Гс, площадью пика $(12,87 \pm 0,39) \cdot 10^1$ отн. ед. ($p \leq 0,05$) (приложение Е, рисунок Е.12).

Проведены исследования по ОКТ говядины, свинины, мяса птицы, мяса козули после обработки дозами от 1 до 12 кГр путем сравнительного анализа основных параметров ЭПР-спектра – амплитуды, ширины и площади.

Образцы костной ткани говядины, обработанные дозой 3 кГр, в диапазоне поля 3260–3300 Гс имели амплитуду пика $(2,78 \pm 0,04) \cdot 10^{-5}$ отн. ед., ширину сигнала $(10,51 \pm 0,01)$ Гс, площадь пика $(5,14 \pm 0,05) \cdot 10^{-4}$ отн. ед. ($p \leq 0,05$) (рисунок 10а). После обработки ОКТ говядины дозой 9 кГр отмечается увеличение амплитуды пика в 8,1 раза до $(2,24 \pm 0,03) \cdot 10^{-4}$ отн. ед. при сужении ширины на 18,7 % до $(8,54 \pm 0,18)$ Гс и увеличении площади пика в 7,7 раза до $(3,95 \pm 0,03) \cdot 10^{-3}$ отн. ед. ($p \leq 0,05$) (рисунок 10б).



а – 3 кГр (g -фактор $2,0028 \pm 0,0001$)



б – 9 кГр (g -фактор $2,0027 \pm 0,0001$)

Рисунок 10 – Спектр ОКТ говядины, обработанных дозами ионизирующего излучения 3 и 9 кГр

Исследование ОКТ говядины, обработанных дозой 10 кГр (g -фактор $2,0027 \pm 0,0001$), показало, что при увеличении амплитуды сигнала на 22,3 % до $(2,74 \pm 0,08) \cdot 10^{-4}$ отн. ед. и ширины на 0,8 % до $(8,47 \pm 0,08)$ Гс в ОКТ по сравнению с образцами, обработанными дозой 9 кГр, отмечается увеличение площади сигнала на 8,9 % до $(4,3 \pm 0,01) \cdot 10^{-3}$ отн. ед. ($p \leq 0,05$).

Обработка ОКТ говядины дозой 12 кГр (g -фактор $2,0026 \pm 0,0001$) по сравнению с образцами, обработанными 10 кГр, приводит к увеличению амплитуды пика сигнала ЭПР в 1,9 раза до $(5,08 \pm 0,01) \cdot 10^{-4}$ отн. ед. и площади пика на 61,4 % до $(6,94 \pm 0,02) \cdot 10^{-3}$ отн. ед. при уменьшении ширины сигнала на 1,8 % до $(8,32 \pm 0,12)$ Гс ($p \leq 0,05$).

Аналогичным образом были исследованы ОКТ свинины, мяса птицы, косули, шейки свиной. Спектры ОКТ, обработанных разными дозами ионизирующего излучения, представлены в приложении Е (рисунки Е.13–Е.18).

Полиномиальные модели ЭПР-спектров с коэффициентами достоверности аппроксимации R^2 при обработке разными дозами ионизирующего излучения ОКТ говядины, свинины, мяса птицы, косули, шейки свиной представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Полиномиальные модели ЭПР-спектров при обработке ОКТ мясного сырья разными дозами ионизирующего излучения

Доза облучения, кГр	Полиномиальная модель ЭПР-спектра	R^2
ОКТ говядины		
3	$Y = 1 \cdot 10^{-10} X^5 - 9 \cdot 10^{-7} X^4 + 0,003 X^3 - 9,356 X^2 + 12230 X - 7 \cdot 10^6$	0,29
9	$Y = -5 \cdot 10^{-14} X^6 + 1 \cdot 10^{-9} X^5 - 8 \cdot 10^{-6} X^4 + 0,036 X^3 - 88,78 X^2 + 11610 X - 6 \cdot 10^7$	0,22
10	$Y = -5 \cdot 10^{-14} X^6 + 9 \cdot 10^{-10} X^5 - 7 \cdot 10^{-6} X^4 + 0,031 X^3 - 77,59 X^2 + 10150 X - 6 \cdot 10^7$	0,13
12	$Y = -8 \cdot 10^{-14} X^6 + 2 \cdot 10^{-9} X^5 - 1 \cdot 10^{-5} X^4 + 0,058 X^3 - 142,3 X^2 + 18611 X - 1 \cdot 10^8$	0,21
ОКТ свинины		
3	$Y = 2 \cdot 10^{-13} X^4 - 1 \cdot 10^{-9} X^3 + 3 \cdot 10^{-6} X^2 - 0,004 X + 2,695$	0,25
9	$Y = 4 \cdot 10^{-13} X^4 - 2 \cdot 10^{-9} X^3 + 5 \cdot 10^{-6} X^2 - 0,005 X + 3,164$	0,33
10	$Y = -1 \cdot 10^{-12} X^4 + 6 \cdot 10^{-9} X^3 - 1 \cdot 10^{-5} X^2 + 0,017 X - 9,240$	0,22
12	$Y = -3 \cdot 10^{-12} X^4 + 1 \cdot 10^{-8} X^3 - 3 \cdot 10^{-5} X^2 + 0,033 X - 17,78$	0,21
ОКТ мяса птицы		
3	$Y = 1 \cdot 10^{-5} X^5 - 8 \cdot 10^{-7} X^4 + 0,003 X^3 - 8,315 X^2 + 10866 X - 6 \cdot 10^6$	0,27
9	$Y = 1 \cdot 10^{-5} X^5 - 1 \cdot 10^{-6} X^4 + 0,004 X^3 - 10,30 X^2 + 13462 X - 7 \cdot 10^6$	0,36
10	$Y = 2 \cdot 10^{-10} X^5 - 2 \cdot 10^{-6} X^4 + 0,006 X^3 - 16,97 X^2 + 22182 X - 1 \cdot 10^7$	0,38
12	$Y = -2 \cdot 10^{-14} X^6 + 4 \cdot 10^{-10} X^5 - 3 \cdot 10^{-6} X^4 + 0,013 X^3 - 33,05 X^2 + 43211 X - 2 \cdot 10^7$	0,29

Продолжение таблицы 6

Доза облучения, кГр	Полиномиальная модель ЭПР-спектра	R^2
ОКТ мяса косули		
3	$Y = -8 \cdot 10^{-12} X^4 + 4 \cdot 10^{-8} X^3 - 9 \cdot 10^{-5} X^2 + 0,121X - 67,37$	0,52
12	$Y = -4 \cdot 10^{-13} X^4 + 2 \cdot 10^{-9} X^3 - 3 \cdot 10^{-6} X^2 + 0,002X - 0,528$	0,21
ОКТ шейки свиной		
8	$Y = -1 \cdot 10^{-12} X^4 + 6 \cdot 10^{-9} X^3 - 2 \cdot 10^{-5} X^2 + 0,010X + 12,01$	0,94
12	$Y = 4 \cdot 10^{-12} X^4 - 1 \cdot 10^{-8} X^3 + 3 \cdot 10^{-5} X^2 - 0,024X + 19,06$	0,94

Полученные результаты с точки зрения прослеживаемости определенных закономерностей (увеличение амплитуды пика, сужение ширины сигнала и, соответственно, увеличение площади пика) по шейке свиной не отличаются от исследований ОКТ обработанной ионизирующим излучением свинины.

В ходе исследований методом ЭПР установлено, что, несмотря на присутствие шумов (один из параметров при регулировке настройки ЭПР-спектрометра) при обработке некоторых ОКТ мясного сырья, полученные экспериментальные данные сопоставимы. Инструментальные исследования проводились в пятикратной повторности. По всем образцам отмечается изменение параметров ЭПР-сигнала при увеличении дозы ионизирующего излучения.

Исследование ОКТ мяса разных видов животных и птицы после обработки ионизирующим излучением в разных дозах продемонстрировало разную способность к поглощению ионизирующего излучения в силу видовых особенностей группы позвоночных животных (крупный рогатый скот, свиньи, птица), а также строения, структуры и состава костной ткани (наиболее восприимчива к поглощению костная ткань крупного рогатого скота и свиней).

Соотношение амплитуды ЭПР-сигнала ОКТ говядины – свинины – птицы – косули при обработке ионизирующим излучением дозой 12 кГр составляет 4,3:4,6:1:4,0. Изменение амплитуды ЭПР-сигналов образцов костной ткани не находится в линейной зависимости от дозы облучения. Установлено, что наиболее восприимчивы к увеличению дозы облучения ОКТ говядины и свинины (рисунок 11), что, возможно, обусловлено плотностью костной ткани, бóльшим содержанием

минеральных веществ по сравнению с ОКТ птицы из-за видовой принадлежности и возраста животных.

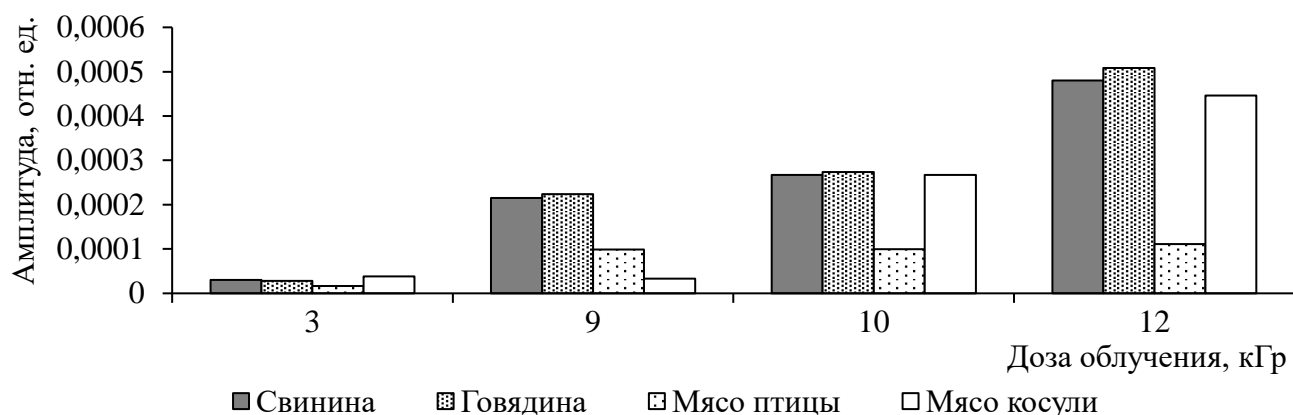


Рисунок 11 – Амплитуда ЭПР-сигналов ОКТ свинины, говядины, мяса птицы и косули, обработанных разными дозами ионизирующего излучения

Соотношение ширины ЭПР-сигнала ОКТ говядины – свинины – птицы – косули при дозе облучения 12 кГр составляет 0,68:0,68:1:0,59. Ширина ЭПР-сигналов имеет выраженную зависимость от дозы облучения и с ее увеличением сужается в ОКТ свинины, говядины и мяса косули, при этом в ОКТ птицы ширина ЭПР-сигналов увеличивается (рисунок 12).

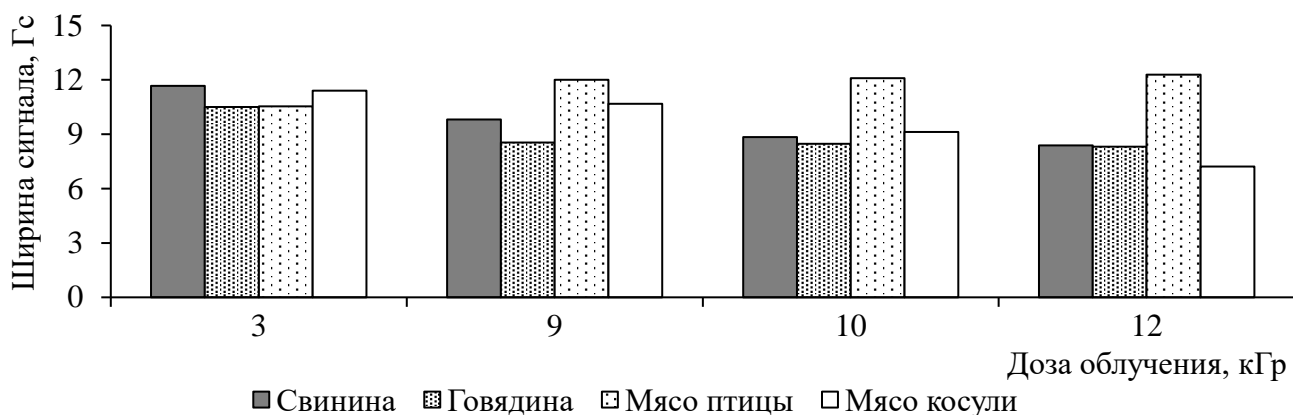


Рисунок 12 – Ширина ЭПР-сигналов ОКТ свинины, говядины, мяса птицы и косули, обработанных разными дозами ионизирующего излучения

Выявлена высокая степень корреляционной зависимости изменения ширины ЭПР-сигнала от дозы облучения для говядины – 0,97, свинины – 0,99, мяса косули – 0,87, птицы – 0,98. Изменение ширины сигнала может определяться различием физических свойств среды: разной упругостью, электро- и теплопроводностью образцов.

Соотношение площади ЭПР-сигнала в ОКТ говядины – свинины – птицы – косули при дозе облучения 12 кГр равно 1,9:1,8:1:1,2. Площадь ЭПР-сигнала ОКТ свинины и говядины значительно увеличивается с увеличением дозы облучения свыше 9 кГр. Для всех образцов выявлена высокая степень корреляции: для говядины и свинины – 0,98; для мяса птицы – 0,99; для мяса косули – 0,87 (рисунок 13).

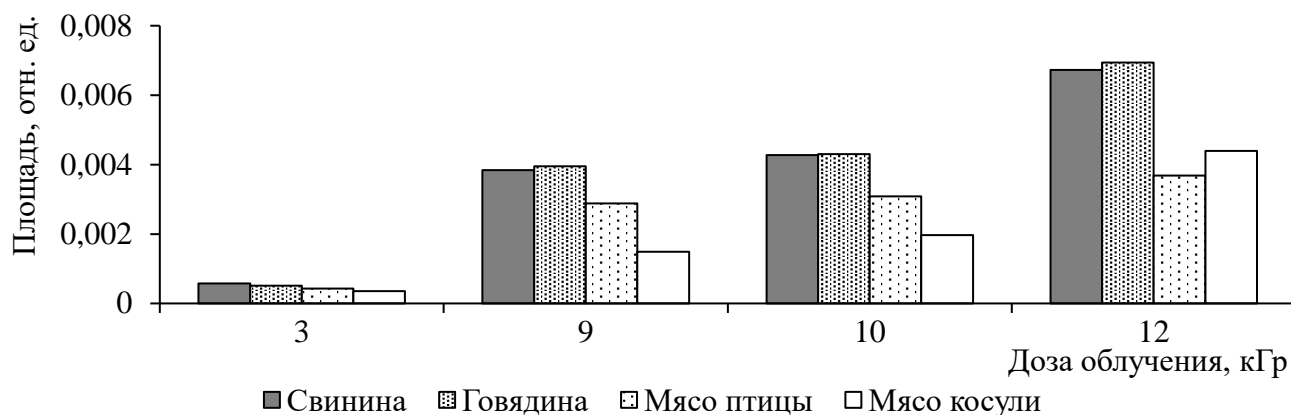


Рисунок 13 – Площадь ЭПР-сигналов ОКТ свинины, говядины, мяса птицы и косули, обработанных разными дозами ионизирующего излучения

Определение поглощенной дозы ионизирующего излучения для разных видов мясного сырья проводили согласно разработанной методике по расчетной унифицированной формуле (7). Поглощенная доза с увеличением дозы облучения имеет ярко выраженную тенденцию к увеличению во всех ОКТ (рисунок 14).

Для свинины множественный коэффициент корреляции (поглощенная доза – доза облучения – площадь сигнала) составляет 0,98; для говядины – 0,99; для мяса птицы – 0,94; для мяса косули – 0,96.

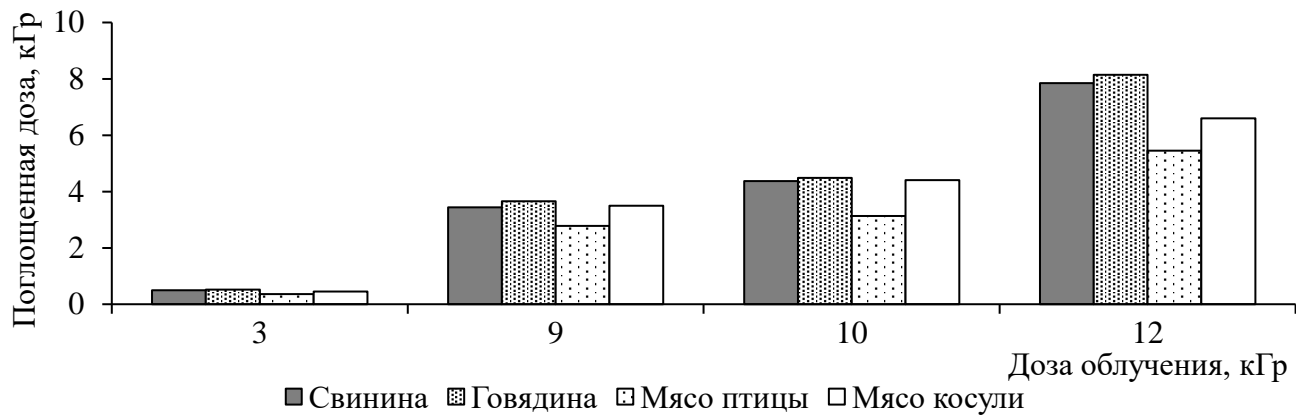


Рисунок 14 – Поглощенная доза ОКТ свинины, говядины, мяса птицы и косули, обработанных разными дозами ионизирующего излучения

Трехмерная графическая интерпретация дает наглядное представление о влиянии совокупности факторов (дозы облучения X_1 и площади сигнала X_2) на поглощенную дозу (для ОКТ свинины представлена на рисунке 15, для говядины, мяса птицы и косули – в приложении Е, рисунки Е.19–Е.21).

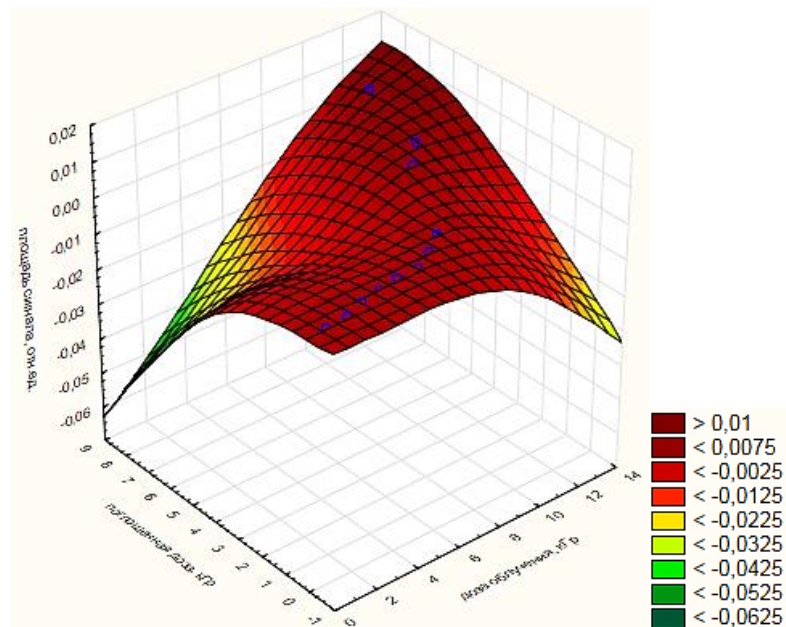


Рисунок 15 – Поверхность отклика $Y = f(X_1; X_2)$ для ОКТ свинины ($p \leq 0,05$)

Зависимость изменения поглощенной дозы Y от дозы облучения X_1 и от площади сигнала X_2 для ОКТ свинины представлена уравнением регрессии:

$$Y = -0,7877 + 0,24079X_1 + 745,6338X_2 \quad (14)$$

(коэффициент достоверности аппроксимации $R^2 = 0,97$, средняя ошибка аппроксимации $A = 0,49$ %).

Для ОКТ говядины ($R^2 = 0,99$, $A = 0,30$ %):

$$Y = -0,33131 + 0,152599X_1 + 847,1903X_2. \quad (15)$$

Для ОКТ мяса птицы ($R^2 = 0,90$, $A = 0,61$ %):

$$Y = -1,81791 + 0,222756X_1 + 3551,512X_2. \quad (16)$$

Для ОКТ мяса косули ($R^2 = 0,96$, $A = 0,47$ %):

$$Y = -0,0307 - 0,4387X_1 + 4887,373X_2. \quad (17)$$

В результате проведенных исследований установлено ($p \leq 0,05$), что при увеличении дозы облучения ОКТ свинины с 3 до 12 кГр возрастают амплитуда в 15,7 раза и площадь в 11,7 раза, происходит сужение ширины ЭПР-сигнала на 28,1 %; в ОКТ говядины параметры изменяются: амплитуда – в 18,3 раза, площадь – в 13,5 раза, ширина пика – на 20,8 %; в ОКТ мяса косули: амплитуда – в 11,6 раза, площадь – в 12,5 раза, ширина пика – на 36,7 %. В ОКТ мяса птицы произошло увеличение всех параметров ЭПР-сигнала: амплитуда – в 6,6 раза, площадь – в 8,6 раза, ширина пика – на 16,6 % ($p \leq 0,05$).

Опытным путем установлено, что, несмотря на обработку образцов костной ткани одинаковыми дозами ионизирующего излучения, поглощенная доза зависит от вида позвоночных животных, структуры ткани образца, влагоудерживающей способности и других факторов. Образцы костной ткани свинины и говядины наиболее чутко прореагировали на изменение дозы облучения по всем исследуемым показателям. По исследуемым ОКТ говядины, мяса свинины и косули установлено, что при увеличении дозы облучения происходит увеличение амплитуды, сужение ширины пика и, как следствие, увеличение площади пика. По ОКТ мяса птицы

установлено, что, несмотря на более низкие цепные темпы роста амплитуды при увеличении дозы, за счет уширения ЭПР-сигнала зарегистрировано увеличение площади ЭПР-сигнала.

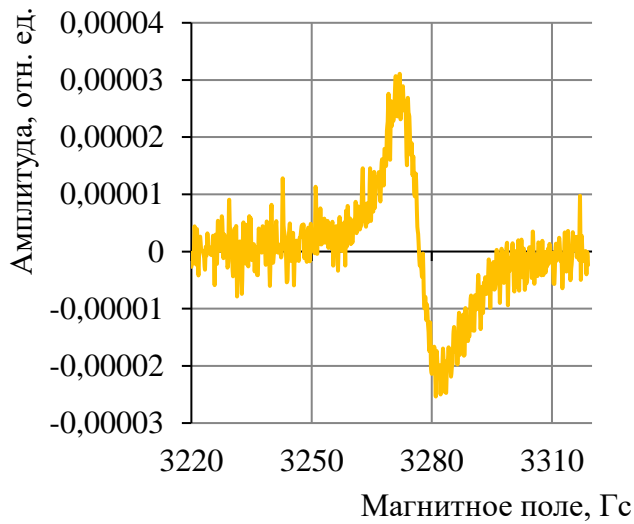
Зафиксирована устойчивая корреляционная зависимость увеличения площади ЭПР-сигнала от применяемой дозы облучения: для говядины и свинины – 0,98, для мяса птицы – 0,996, мяса косули – 0,87 (степень силы статистической связи по Чеддоку характеризуется как высокая и очень высокая). Поглощенная доза с повышением дозы облучения имеет тенденцию к увеличению, что подтверждается площадью под линией сигнала ЭПР-спектра. Коэффициент корреляции по поглощенной дозе высокий: по говядине и свинине – 0,94, по мясу птицы – 0,96, по мясу косули – 0,99.

Следующим этапом эксперимента было установление возможности идентификации мясного сырья, обработанного ионизирующим излучением, при исследовании мышечной ткани на основании положений ГОСТ Р 52529-2006.

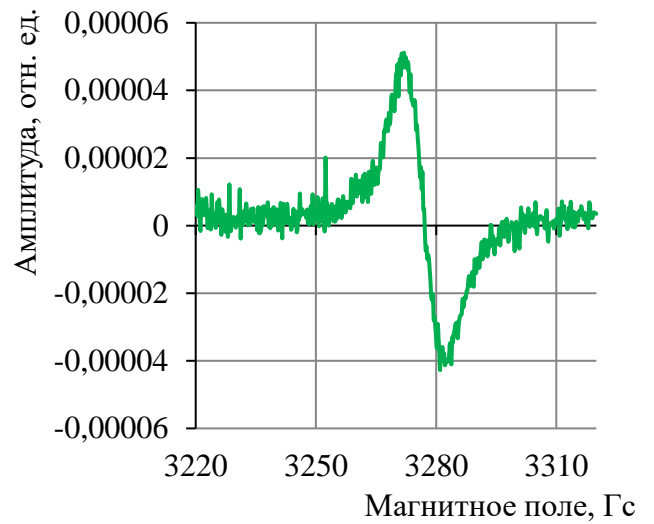
До начала эксперимента контрольные образцы говядины, свинины и мяса птицы были исследованы методом ЭПР для подтверждения или опровержения факта облучения до обработки их ионизирующим излучением в ходе эксперимента. В нашем случае контрольные образцы мясного сырья отечественного производства не подвергались воздействию ионизирующего излучения, что подтверждается отсутствием характерных ЭПР-спектров (приложение Е, рисунок Е.22).

Исследование ОМТ осуществлялось после воздействия ионизирующим излучением дозами в интервале от 1 до 12 кГр согласно п. 2.3.

Образцы мышечной ткани говядины при дозе облучения 3 кГр (рисунок 16а) в диапазоне поля 3260–3290 Гс имели амплитуду пика $(5,29 \pm 0,08) \cdot 10^{-5}$ отн. ед. и ширину сигнала $(10,14 \pm 0,15)$ Гс. Площадь пика под линией поглощения была равна $(9,32 \pm 0,03) \cdot 10^{-4}$ отн. ед. ($p \leq 0,05$). При дозе 9 кГр отмечается увеличение амплитуды пика на 71,8 % до $(9,09 \pm 0,22) \cdot 10^{-5}$ отн. ед. при сужении ширины на 4,5 % до $(9,68 \pm 0,26)$ Гс и увеличении площади пика на 60,9 % до $(1,50 \pm 0,01) \cdot 10^{-3}$ отн. ед. ($p \leq 0,05$) (рисунок 16б).



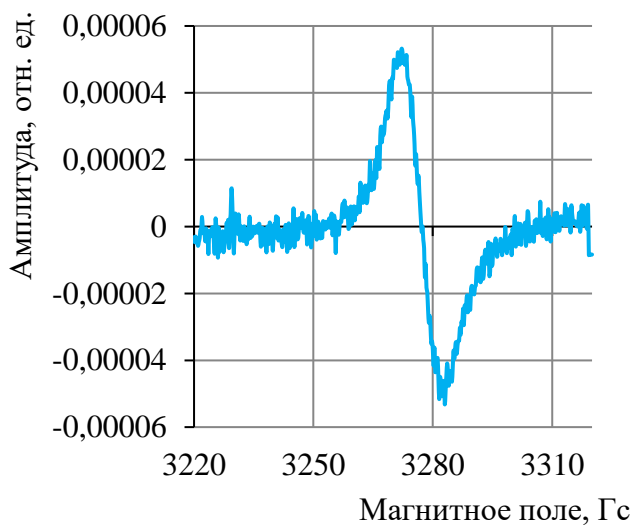
a – 3 кГр (g -фактор $2,0058 \pm 0,0006$)



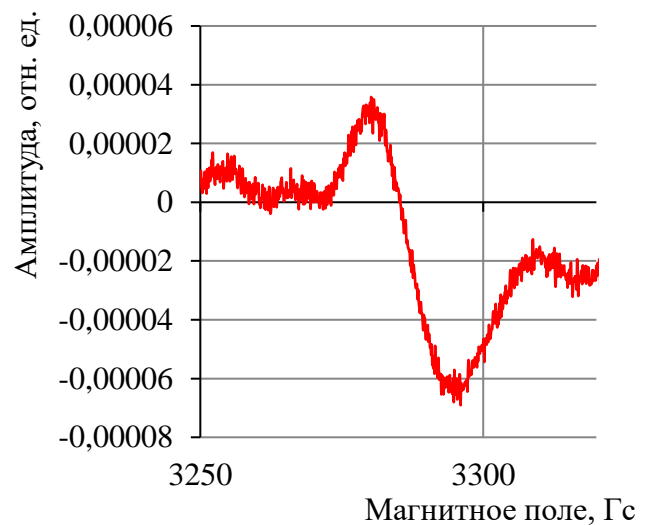
b – 9 кГр (g -фактор $2,0059 \pm 0,0003$)

Рисунок 16 – Спектр ОМТ говядины, обработанных дозами 3 и 9 кГр

Исследование ОМТ говядины, обработанных дозой 10 кГр, показало, что при увеличении амплитуды пика сигнала на 13,3 % до $(1,03 \pm 0,04) \cdot 10^{-4}$ отн. ед. и ширины пика на 12,4 % (до $10,88 \pm 0,09$) Гс отмечается увеличение площади сигнала на 33,3 % до $(2,00 \pm 0,01) \cdot 10^{-3}$ отн. ед. по сравнению с образцами, обработанными более низкой дозой 9 кГр ($p \leq 0,05$) (рисунок 16а).



a – 10 кГр (g -фактор $2,0056 \pm 0,0003$)



b – 12 кГр (g -фактор $2,0059 \pm 0,0003$)

Рисунок 17 – Спектр ОМТ говядины, обработанных дозами 10 и 12 кГр

Обработка ОМТ говядины дозой 12 кГр по сравнению с образцами, обработанными дозой 10 кГр, показала, что при увеличении амплитуды пика сигнала ЭПР на 46,6 % до $(1,51 \pm 0,06) \cdot 10^{-4}$ отн. ед. и ширины сигнала на 8,6 % ($11,82 \pm 0,41$) Гс увеличивается площадь пика на 50,0 % до значения $(3,00 \pm 0,03) \cdot 10^{-3}$ отн. ед. ($p \leq 0,05$) (рисунок 16б).

Аналогичным образом были исследованы образцы мышечной ткани свинины и птицы. Спектры ОМТ, обработанных разными дозами ионизирующего излучения, представлены в приложении Е (рисунки Е.23–Е.26).

Полиномиальные модели ЭПР-спектров с коэффициентами достоверности аппроксимации R^2 при обработке ОМТ говядины, свинины, мяса птицы, мяса козули, шейки свиной разными дозами представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Полиномиальные модели ЭПР-спектров при обработке ОМТ мясного сырья разными дозами ионизирующего излучения

Доза облучения, кГр	Полиномиальная модель ЭПР-спектра	R^2
ОМТ говядины		
3	$Y = 2 \cdot 10^{-10} X^5 - 2 \cdot 10^{-6} X^4 + 0,008 X^3 - 20,77 X^2 + 27141 X - 1 \cdot 10^7$	0,40
9	$Y = -2 \cdot 10^{-14} X^6 + 3 \cdot 10^{-10} X^5 - 3 \cdot 10^{-6} X^4 + 0,012 X^3 - 29,37 X^2 + 38376 X - 2 \cdot 10^7$	0,35
10	$Y = -2 \cdot 10^{-14} X^6 + 5 \cdot 10^{-10} X^5 - 4 \cdot 10^{-6} X^4 + 0,016 X^3 - 40,13 X^2 + 52440 X - 3 \cdot 10^7$	0,37
12	$Y = -3 \cdot 10^{-14} X^6 + 6 \cdot 10^{-10} X^5 - 5 \cdot 10^{-6} X^4 + 0,022 X^3 - 55,83 X^2 + 72889 X - 4 \cdot 10^7$	0,74
ОМТ свинины		
3	$Y = -2 \cdot 10^{-14} X^6 + 4 \cdot 10^{-10} X^5 - 4 \cdot 10^{-6} X^4 + 0,015 X^3 - 37,49 X^2 + 48988 X + 3 \cdot 10^7$	0,42
9	$Y = 1 \cdot 10^{-10} X^5 - 9 \cdot 10^{-7} X^4 + 0,003 X^3 - 9,140 X^2 + 11926 X - 6 \cdot 10^6$	0,52
10	$Y = 2 \cdot 10^{-10} X^5 - 2 \cdot 10^{-6} X^4 + 0,007 X^3 - 17,96 X^2 + 23468 X - 1 \cdot 10^7$	0,41
12	$Y = -3 \cdot 10^{-14} X^6 + 6 \cdot 10^{-10} X^5 - 5 \cdot 10^{-6} X^4 + 0,023 X^3 - 56,31 X^2 + 73517 X - 4 \cdot 10^7$	0,74
ОМТ мяса птицы		
3	$Y = 1 \cdot 10^{-10} X^5 - 1 \cdot 10^{-6} X^4 + 0,004 X^3 - 11,25 X^2 + 14698 X - 8 \cdot 10^6$	0,35
9	$Y = 2 \cdot 10^{-10} X^5 - 1 \cdot 10^{-6} X^4 + 0,006 X^3 - 14,92 X^2 + 19491 X - 1 \cdot 10^7$	0,36
10	$Y = 2 \cdot 10^{-10} X^5 - 1 \cdot 10^{-6} X^4 + 0,005 X^3 - 13,79 X^2 + 18018 X - 1 \cdot 10^7$	0,33
12	$Y = -2 \cdot 10^{-14} X^6 + 3 \cdot 10^{-10} X^5 - 3 \cdot 10^{-6} X^4 + 0,010 X^3 - 26,80 X^2 + 35016 X - 2 \cdot 10^7$	0,36

В результате обработки ОМТ мясного сырья разными дозами ионизирующего излучения установлена различная способность к поглощению дозы облучения в зависимости от вида мяса. Наибольшей способностью к поглощению отличается мышечная ткань говядины и свинины, что может быть связано с видовыми

особенностями: консистенцией мяса, более упругой и плотной в говядине и свинине в отличие от мяса птицы.

Зафиксировано, что амплитуда ОМТ не изменяется пропорционально дозе облучения. В то же время установлено, что наиболее восприимчивы к изменению дозы ОМТ говядины (коэффициент корреляции 0,93) (рисунок 18).

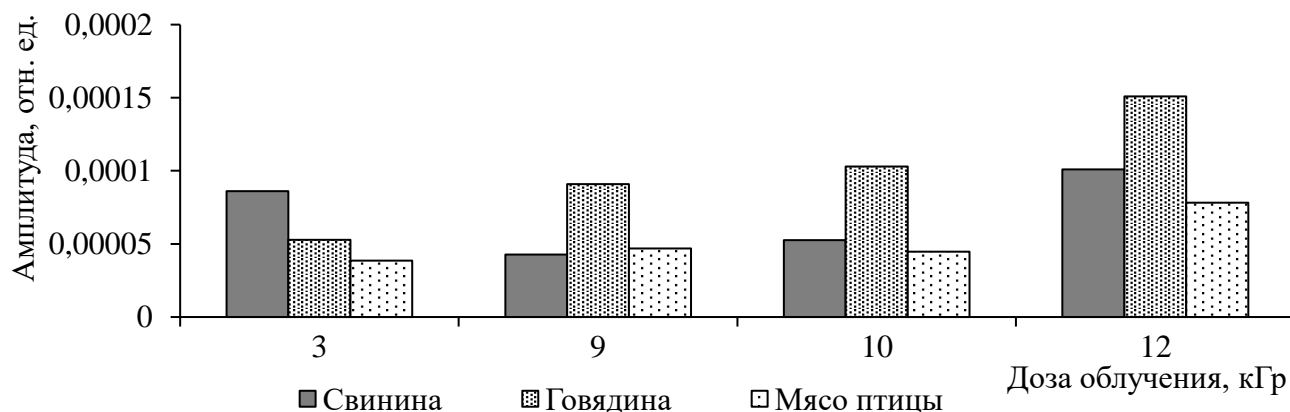


Рисунок 18 – Амплитуда ЭПР-сигналов ОМТ свинины, говядины и мяса птицы, обработанных разными дозами ионизирующего излучения

Анализ полученных данных свидетельствует об отсутствии достоверно установленной зависимости ширины ЭПР-сигналов от дозы облучения (рисунок 19).

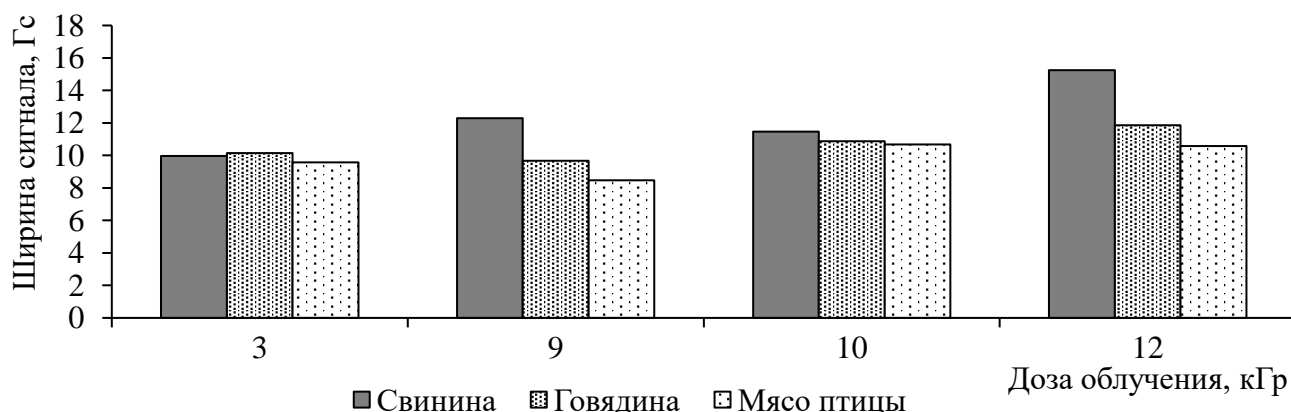


Рисунок 19 – Ширина ЭПР-сигналов ОМТ свинины, говядины и мяса птицы, обработанных разными дозами ионизирующего излучения

Площадь ЭПР-сигнала во всех образцах мышечной ткани растет с увеличением дозы облучения: для ОМТ говядины установлена высокая степень силы статистической связи (коэффициент корреляции равен 0,89), для ОМТ свинины и мяса птицы – заметная (коэффициент корреляции соответственно равен 0,68 и 0,73) (рисунок 20).

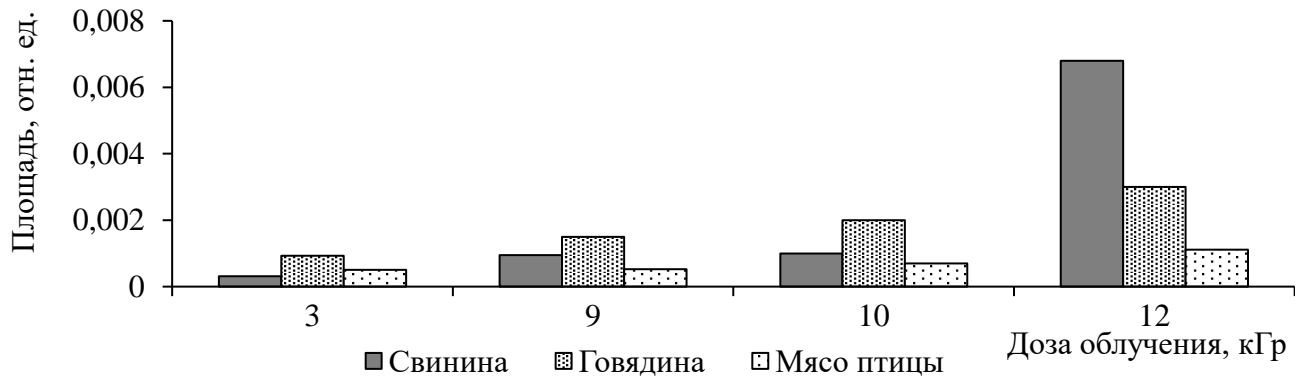


Рисунок 20 – Площадь ЭПР-сигналов ОМТ свинины, говядины и мяса птицы, обработанных разными дозами ионизирующего излучения

Определение поглощенной дозы проводили согласно разработанной методики количественного определения поглощенных доз расчетным путем по унифицированной формуле (7). Поглощенная доза с увеличением дозы облучения имеет ярко выраженную тенденцию к увеличению во всех ОМТ (рисунок 21).

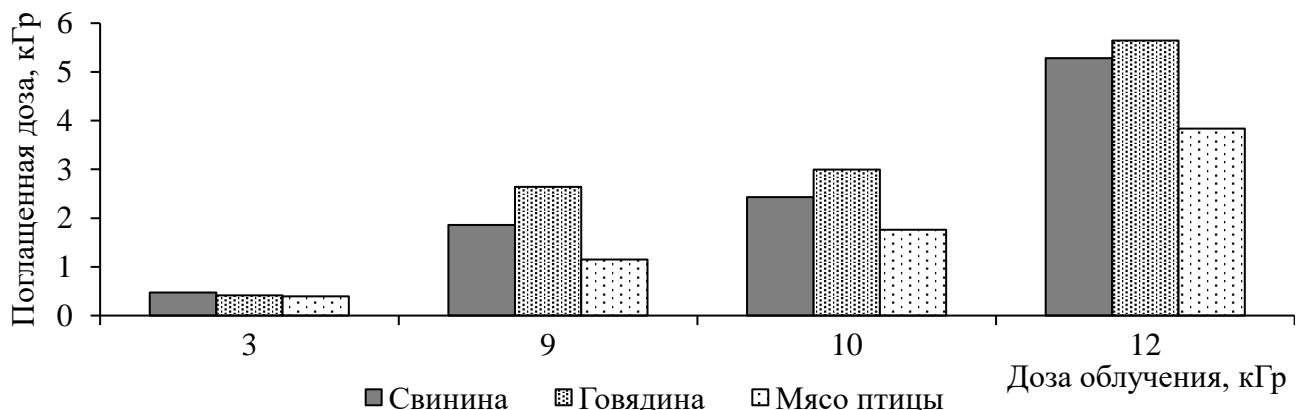


Рисунок 21 – Поглощенная доза ОМТ свинины, говядины и мяса птицы, обработанных разными дозами ионизирующего излучения

Поглощенная доза во всех ОМТ имеет достоверно установленную зависимость к увеличению, для каждого вида мяса различна и зависит от видовой принадлежности мышечной ткани. Наибольшей способностью к поглощению отличается мышечная ткань говядины и свинины (коэффициент множественной корреляции равен соответственно 0,99 и 0,99), в меньшей степени – мясо птицы (коэффициент корреляции 0,98).

Трехмерная графическая интерпретация дает наглядное представление о влиянии совокупности факторов (дозы облучения X_1 и площади сигнала X_2) на поглощенную дозу (рисунок 22, а также рисунки Е.27, Е.28 в приложении Е).

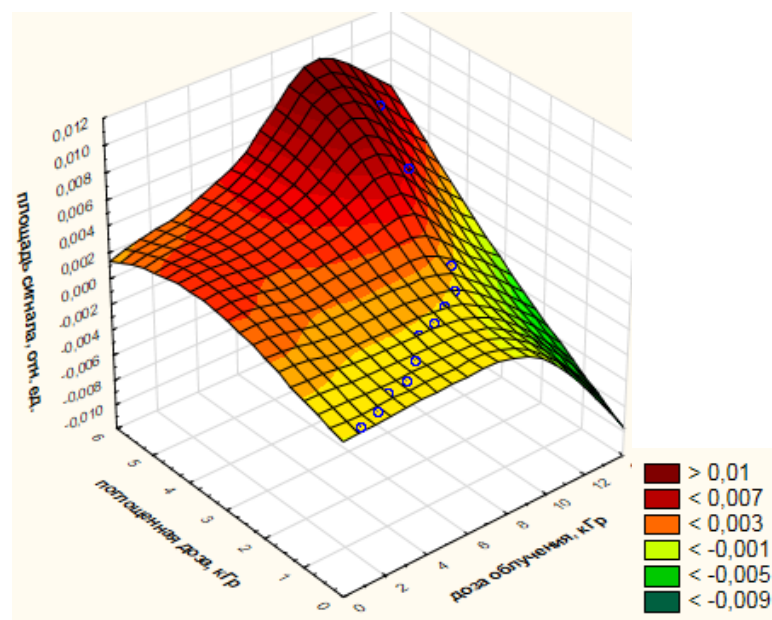


Рисунок 22 – Поверхность отклика $Y = f(X_1; X_2)$ для ОМТ свинины ($p \leq 0,05$)

Зависимость изменения поглощенной дозы Y от дозы облучения X_1 и от площади сигнала X_2 для ОМТ свинины представлена уравнением регрессии:

$$Y = -0,27995 + 0,1957X_1 + 465,974X_2 \quad (R^2 = 0,99, A = 0,14 \%). \quad (18)$$

Для ОМТ говядины:

$$Y = -1,71879 + 0,067873X_1 + 2187,1463X_2 \quad (R^2 = 0,98, A = 0,26 \%). \quad (19)$$

Для ОМТ птицы:

$$Y = -1,81763 + 0,003893X_1 + 4560,007X_2 \quad (R^2 = 0,97, A = 0,22 \%). \quad (20)$$

В результате проведенных исследований установлено, что при увеличении дозы облучения с 3 до 12 кГр в ОМТ свинины амплитуда возрастает в 11,7 раза, площадь – в 21,8 раза, ширина – на 53,1 %; в ОМТ говядины: амплитуда – в 2,9 раза, площадь – в 3,2 раза, ширина – на 16,6 %; в ОМТ мяса птицы: амплитуда – в 2,0 раза, площадь – в 2,2 раза, ширина – на 10,3 % (во всех случаях $p \leq 0,05$). Мышечная ткань говядины более восприимчива к изменению дозы облучения по всем исследуемым параметрам.

Выявлена корреляционная зависимость увеличения площади ЭПР-сигнала от дозы облучения: для говядины – 0,89, свинины – 0,68 и птицы – 0,73. Установлена высокая сила статистической связи между дозой облучения и поглощенной дозой: по свинине – 0,87, говядине – 0,94, птице – 0,84.

Установлено увеличение величины поглощенной дозы с увеличением площади ЭПР-сигнала. Для ОМТ говядины коэффициент корреляции равен 0,89, для свинины и птицы – 0,68 и 0,73 соответственно. Амплитуда ОМТ не изменяется пропорционально дозе облучения, при этом наиболее восприимчивы к изменению дозы облучения ОМТ говядины. Отсутствует достоверно установленная зависимость ширины ЭПР-сигналов от дозы облучения.

Сравнительная ЭПР-спектроскопия образцов костной ткани и образцов мышечной ткани мясного сырья (говядина, свинина, мясо птицы) визуальное показывает различия ЭПР-спектров ОКТ говядины, свинины, мяса птицы по сравнению с ЭПР-спектрами ОМТ говядины, свинины, мяса птицы (рисунки 23, 24, 25).

При исследовании ОКТ и ОМТ говядины, обработанных дозой 12 кГр, отмечается наличие характерного ЭПР-сигнала в диапазоне поля 3260–3300 Гс с амплитудой пика $(5,08 \pm 0,01) \cdot 10^{-4}$ отн. ед., шириной сигнала $(8,32 \pm 0,12)$ Гс, площадью $(6,94 \pm 0,02) \cdot 10^{-3}$ отн. ед. для ОКТ и соответственно $(1,51 \pm 0,06) \cdot 10^{-4}$ отн. ед., $(11,82 \pm 0,41)$ Гс, $(3,00 \pm 0,03) \cdot 10^{-3}$ отн. ед. для ОМТ ($p \leq 0,05$) (рисунок 23).

ЭПР-сигналы ОКТ говядины, обработанных дозой 12 кГр, 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 говядины.

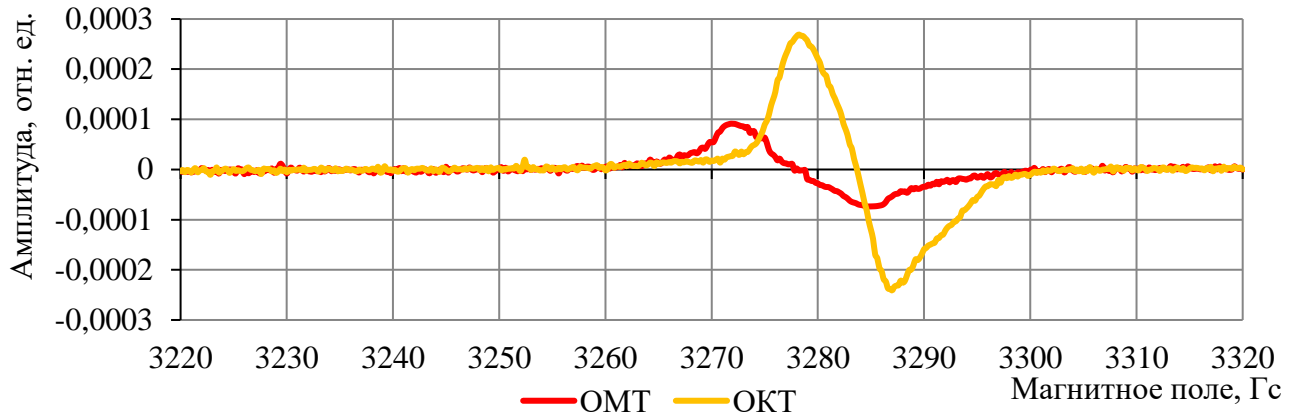


Рисунок 23 – Спектры ОКТ (g -фактор $2,0026 \pm 0,0001$) и ОМТ (g -фактор $2,0059 \pm 0,0003$) говядины, обработанных дозой 12 кГр

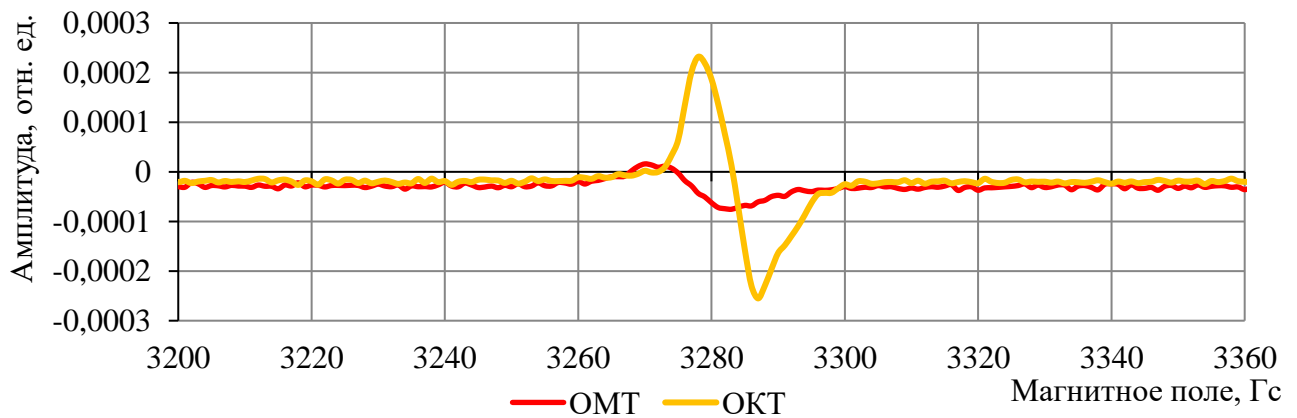


Рисунок 24 – Спектры ОКТ (g -фактор $2,0002 \pm 0,0001$) и ОМТ (g -фактор $1,9994 \pm 0,0002$) свинины, обработанных дозой 12 кГр

После обработки ОКТ и ОМТ свинины дозой 12 кГр в диапазоне поля 3260–3285 Гс появляется четкий ЭПР-сигнал с амплитудой $(4,8 \pm 0,01) \cdot 10^{-4}$ отн. ед., шириной $(8,38 \pm 0,02)$ Гс, площадью $(6,73 \pm 0,29) \cdot 10^{-3}$ отн. ед. для ОКТ и соответственно $(1,01 \pm 0,01) \cdot 10^{-4}$ отн. ед., $(15,25 \pm 0,12)$ Гс и $(6,79 \pm 0,08) \cdot 10^{-3}$ отн. ед. для ОМТ ($p \leq 0,05$) (рисунок 24). ЭПР-сигналы ОКТ свинины, обработанных дозой

12 кГр, отличаются более высокими значениями амплитуды (в 4,8 раза), а за счет сужения ширины сигнала на 82,0 % наблюдается практически одинаковый показатель площади – при разнице в 0,9 % по сравнению с ОМТ свинины.

Обработка ОКТ и ОМТ мяса птицы дозой 12 кГр в диапазоне магнитного поля 3260–3290 Гс приводит к появлению ЭПР-сигнала с амплитудой пика $(1,11 \pm 0,01) \cdot 10^{-4}$ отн. ед., шириной сигнала $(12,29 \pm 0,01)$ Гс, площадью пика $(3,68 \pm 0,04) \cdot 10^{-3}$ отн. ед. для ОКТ и соответственно $(7,82 \pm 0,22) \cdot 10^{-5}$ отн. ед., $(10,57 \pm 0,24)$ Гс и $(1,12 \pm 0,02) \cdot 10^{-3}$ отн. ед. для ОМТ ($p \leq 0,05$) (рисунок 25). ЭПР-сигналы ОКТ, обработанных дозой 12 кГр, отличаются более высокими значениями амплитуды (в 1,4 раза), ширины сигнала (на 14,0 %) и площади (в 3,3 раза) по сравнению с ОМТ мяса птицы.

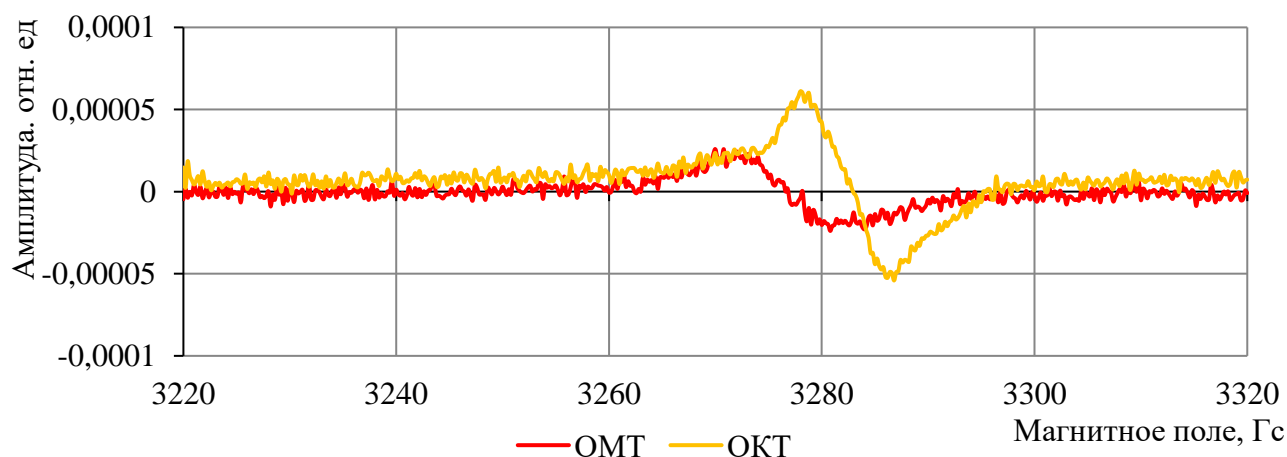


Рисунок 25 – Спектры ОКТ (g -фактор $2,0029 \pm 0,0001$) и ОМТ (g -фактор $2,0060 \pm 0,0005$) мяса птицы, обработанных дозой 12 кГр

Результаты исследований образцов разных составных частей свинины, говядины и мяса птицы после обработки ионизирующим излучением показывают, что амплитуда ЭПР-сигнала образцов костной ткани свинины, говядины и мяса птицы отличается более высокими характеристиками от аналогичного показателя образцов мышечной ткани, что наиболее четко просматривается по образцам свинины и говядины (рисунок 26).

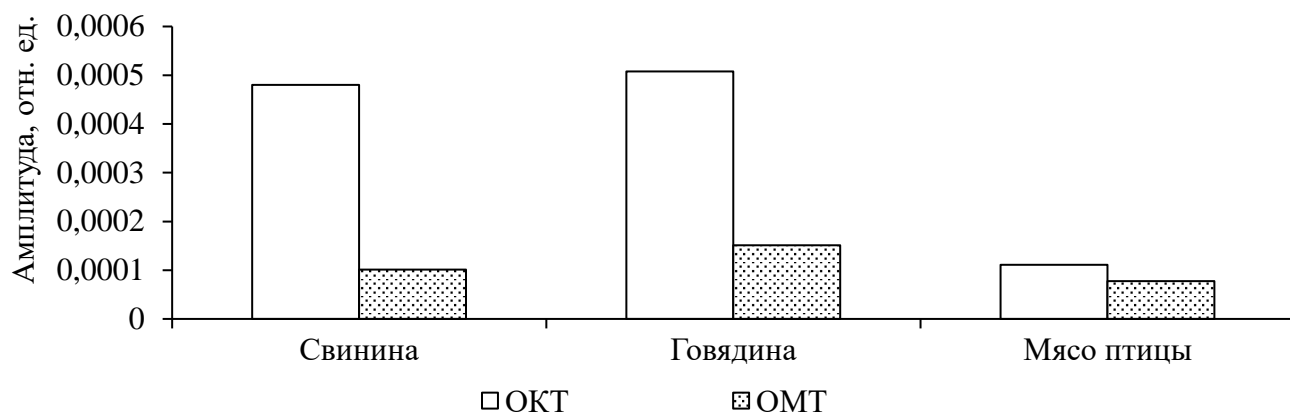


Рисунок 26 – Амплитуда ЭПР-сигналов ОКТ и ОМТ разных видов мясного сырья, обработанных дозой 12 кГр

В образцах мышечной ткани свинины и говядины отмечается уширение ЭПР-сигнала по сравнению с образцами костной ткани. По мясу птицы более широкий сигнал наблюдается в образцах костной ткани (рисунок 27).

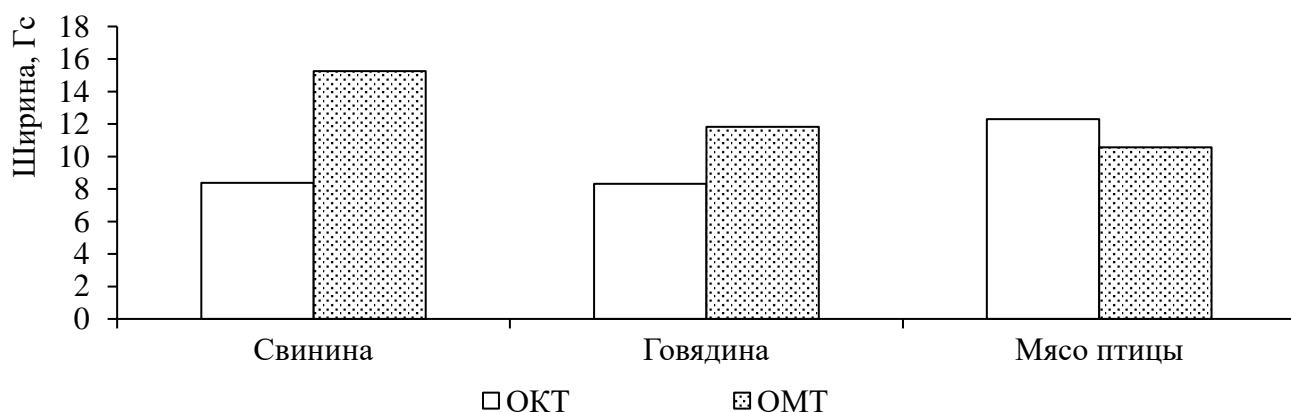


Рисунок 27 – Ширина ЭПР-сигналов ОКТ и ОМТ разных видов мясного сырья, обработанных дозой 12 кГр

Изменение таких параметров ЭПР-сигнала, как амплитуда и ширина пика, сопоставимо с изменением площади ЭПР-сигнала в образцах свинины; по говядине и птице площадь ЭПР-сигнала наиболее высокая в образцах костной ткани за счет более высоких значений амплитуды (рисунок 28).

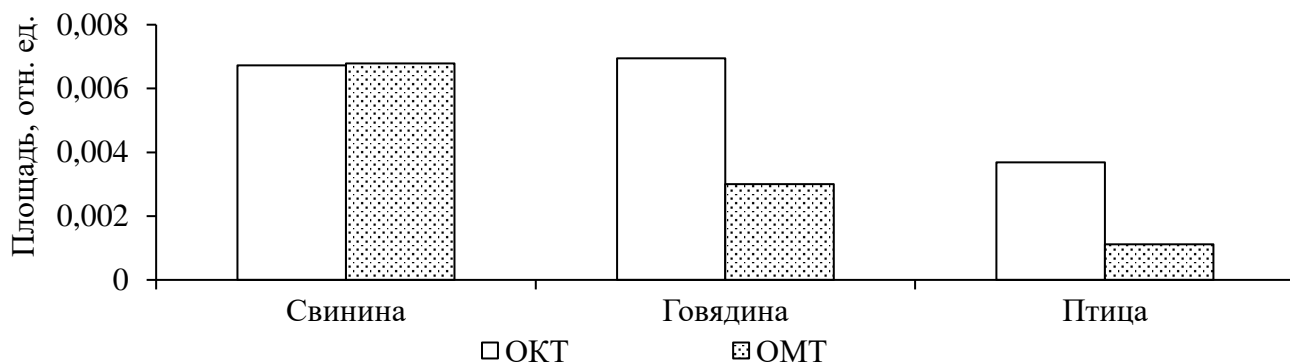


Рисунок 28 – Площадь ЭПР-сигналов ОКТ и ОМТ разных видов мясного сырья, обработанных дозой 12 кГр

Сопоставление полученных результатов по ОКТ и ОМТ разных видов мясного сырья позволяет сделать следующие выводы:

- при низких дозах облучения (до 3 кГр) установлены наименьшие различия в параметрах ЭПР-спектра и поглощенной дозы между ОКТ и ОМТ;

- ОКТ в отличие от ОМТ в результате воздействия ионизирующего излучения отличаются более высокими показателями амплитуды и площади сигнала, а также более узким ЭПР-спектром в образцах говядины и свинины, в отличие от более широкого сигнала в ОКТ птицы; изменение параметров ЭПР-сигнала разных видов мясного сырья, обработанных ионизирующим излучением, обусловлено видовой принадлежностью и различием физических свойств мяса: твердостью и плотностью костной ткани, упругостью, электро- и теплопроводностью мышечной ткани;

- образцы костной ткани отличаются высокой радиочувствительностью, соответственно более восприимчивы к воздействию ионизирующего излучения; так, поглощенная доза при дозе облучения 12 кГр в ОКТ по сравнению с ОМТ выше по свинине – в 1,49 раза, по говядине – в 1,44 раза, по птице – в 1,42 раза;

- из исследованных видов мясного сырья говядина отличается наибольшей восприимчивостью к воздействию ионизирующего излучения и соответственно более высокими значениями показателя поглощенной дозы, мяса птицы – наименьшей восприимчивостью и соответственно более низкими значениями показателя поглощенной дозы с высокой степенью корреляции, что может быть обусловлено структурой мышечных волокон и консистенцией мышечной ткани мяса птицы.

Методика пробоподготовки, адаптированная автором к мясу разных видов сельскохозяйственных животных, птицы и рыбы, отличающаяся увеличением продолжительности сушки образцов до 24–30 ч, позволяет получить устойчивые ЭПР-спектры в многократной повторности. Разработанная методика количественного определения поглощенных доз для мясного сырья промышленного производства и промыслового забоя и мясопродуктов дает возможность с высокой степенью достоверности ($p \leq 0,05$) определить поглощенную дозу ионизирующего излучения.

Для всех образцов костной и мышечной ткани мясного сырья установлено, что поглощенная доза после обработки дозой ионизирующего излучения 12 кГр имеет значения ниже 10 кГр, что соответствует требованиям безопасности обработанной ионизирующим излучением продукции по «Кодекс Алиментариус». Опытным путем установлено, что разработанная автором методика определения поглощенных доз позволяет с высокой степенью достоверности рассчитать поглощенную дозу не только по образцам костной ткани, но и по обработанным мышечным тканям говядины, свинины и мяса птицы. Поглощенная доза для каждого вида мяса различна и зависит от видовой принадлежности сельскохозяйственного животного и птицы.

Идентичность параметров измерения ЭПР-спектров, полученных на спектрометре российского производства, и ЭПР-спектров, полученных на спектрометрах немецкого производителя Bruker, позволяет сопоставлять и использовать полученные результаты. Полученные материалы имеют важное теоретическое и практическое значение для формирования национальной нормативной базы и апробации существующих методик выявления пищевых продуктов, обработанных ионизирующим излучением, в рамках актуализации требований европейских и международных стандартов по безопасности и обеспечению качества пищевой продукции.

При повторном исследовании ранее обработанных разными дозами ионизирующего излучения образцов костной ткани говядины, свинины, мяса птицы, косяли и шейки свиной, упакованной с применением МГС, через 12 мес. были получены сходные ЭПР-сигналы с идентичными параметрами ЭПР-спектров, что согласуется с данными исследователей [276; 310; 347; 391]. Полученные эксперимен-

тальные данные позволяют идентифицировать пищевую продукцию, подвергнутую воздействию ионизирующего излучения, в более длительном временном промежутке после проведения обработки.

3.5 Качественная и количественная идентификация охлажденной рыбы

Ввиду отсутствия методики идентификации обработанного ионизирующим излучением рыбного сырья и персонифицированного ГОСТ по рыбе экспериментальные исследования и спектроскопия автором диссертационного исследования осуществлялись согласно ГОСТ Р 52529-2006 «Мясо и мясные продукты. Метод электронного парамагнитного резонанса для выявления радиационно-обработанных мяса и мясopодуктов, содержащих костную ткань», выбранному в качестве методологической базы; по костной и мышечной тканям и по образцам кожи с чешуей – по разработанной и адаптированной методике проведения пробоподготовки согласно п. 3.2 с целью формирования доказательной базы для возможной идентификации по образцам костной и мышечной ткани и кожи с чешуей обработанного рыбного сырья, разработки методики количественного определения поглощенных доз согласно п. 3.3.

Контрольные образцы рыбного сырья (каrp охлажденный) были исследованы методом электронного парамагнитного резонанса для подтверждения или опровержения факта предварительной обработки. В нашем случае контрольные образцы карпа охлажденного отечественного производства не были обработаны ионизирующим излучением, что подтверждается отсутствием характерных ЭПР-сигналов (рисунок 29).

В ходе эксперимента образцы охлажденной рыбы подвергались воздействию ионизирующего излучению дозами в интервале от 1 до 12 кГр (п. 2.3 диссертационного исследования).

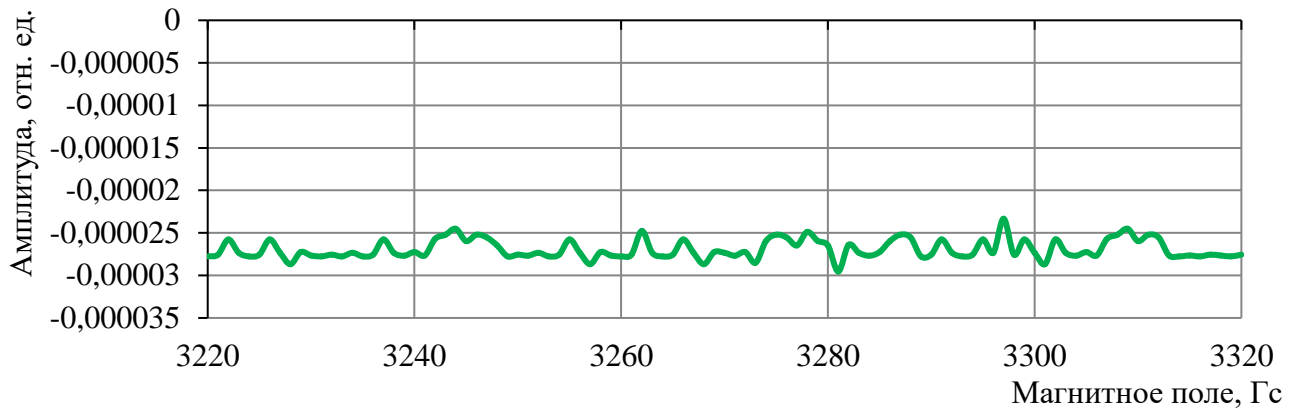


Рисунок 29 – Спектр ОКТ карпа охлажденного до обработки ионизирующим излучением

На рисунке 30 можно увидеть, насколько различны спектры ЭПР после обработки ионизирующим излучением (в нашем случае – дозой 12 кГр) по сравнению с образцами до обработки. При дозе облучения 12 кГр (g -фактор $2,0046 \pm 0,0001$) в ОКТ рыбы зафиксированы следующие параметры ЭПР-сигнала в диапазоне поля 3260–3290 Гс: амплитуда пика $(3,53 \pm 0,06) \cdot 10^{-5}$ отн. ед., ширина сигнала $(14,74 \pm 0,05)$ Гс, площадь пика $(3,07 \pm 0,01) \cdot 10^{-3}$ отн. ед. ($p \leq 0,05$).

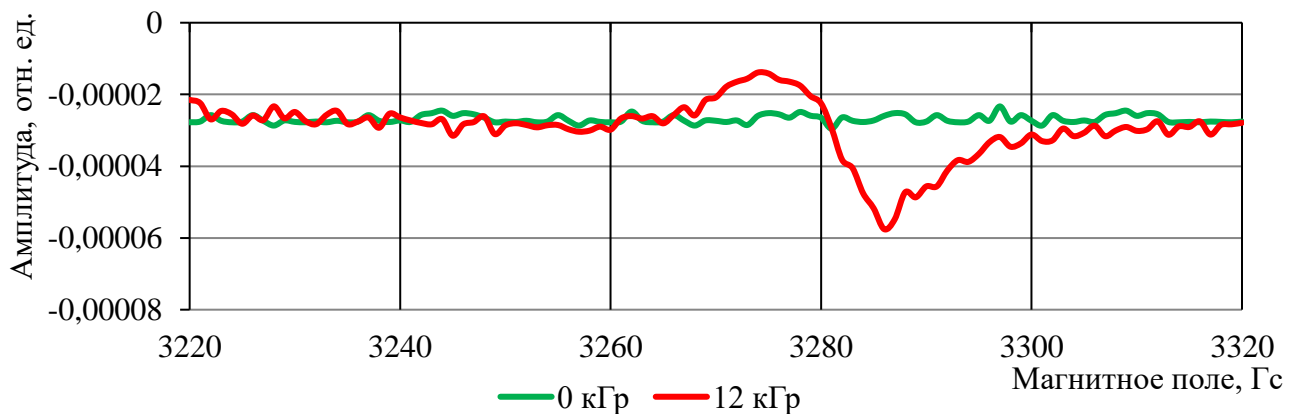


Рисунок 30 – Спектры ОКТ необработанного и обработанного дозой 12 кГр карпа охлажденного (g -фактор $2,0046 \pm 0,0001$) ($p \leq 0,05$)

После обработки ОКТ карпа дозой 3 кГр в диапазоне поля 3265–3288 Гс появляется ЭПР-сигнал с амплитудой пика $(6,29 \pm 0,01) \cdot 10^{-6}$ отн. ед. при ширине $(9,81 \pm 0,02)$ Гс и площади $(4,07 \pm 0,04) \cdot 10^{-4}$ отн. ед. ($p \leq 0,05$) (рисунок 31а). Доза

облучения 9 кГр приводит к изменению основных параметров ЭПР-сигнала: зафиксировано увеличение амплитуды пика в 5,1 раза до $(3,19 \pm 0,01) \cdot 10^{-5}$ отн. ед., ширины сигнала – на 38,1 % до $(13,55 \pm 0,01)$ Гс и площади пика – в 6,26 раза до $(2,55 \pm 0,01) \cdot 10^{-3}$ отн. ед. ($p \leq 0,05$) по сравнению с ОКТ карпа охлажденного, обработанного дозой 3 кГр (рисунок 31б).

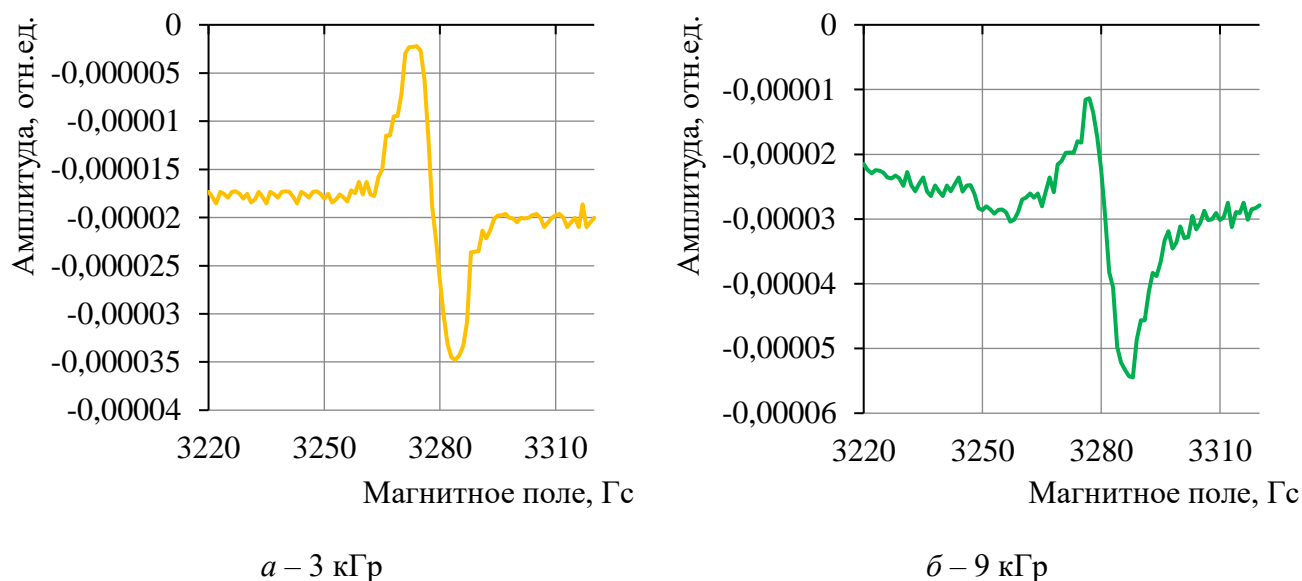


Рисунок 31 – Спектр ОКТ карпа охлажденного, обработанных дозами 3 и 9 кГр (g -фактор $2,0046 \pm 0,0001$) ($p \leq 0,05$)

После обработки ОКТ карпа охлажденного дозой 10 кГр установлены изменения параметров ЭПР-сигнала по сравнению с ОКТ, обработанных дозой 9 кГр: увеличение амплитуды пика на 4,7 % до $(3,34 \pm 0,08) \cdot 10^{-5}$ отн. ед., ширины сигнала на 1,7 % до $(13,78 \pm 0,01)$ Гс и площади пика на 2,7 % до $(2,62 \pm 0,01) \cdot 10^{-3}$ отн. ед. ($p \leq 0,05$) (приложение Е, рисунок Е.29а).

После обработки ОКТ рыбы дозой 12 кГр (приложение Е, рисунок Е.29б) по сравнению с образцами, обработанными дозой 10 кГр, отмечается увеличение всех параметров: амплитуды – на 5,7 % до $(3,53 \pm 0,06) \cdot 10^{-5}$ отн. ед., ширины – на 7,0 % до $14,74 \pm 0,05$ Гс, площади – на 17,2 % до $(3,07 \pm 0,01) \cdot 10^{-3}$ отн. ед. ($p \leq 0,05$).

В результате проведенных исследований установлено, что при увеличении дозы облучения ОКТ рыбы с 3 до 12 кГр произошло увеличение всех параметров

ЭПР-сигнала: амплитуды – в 5,5 раза, площади пика – в 7,5 раза, ширины пика – на 50,3 % ($p \leq 0,05$).

В отличие от исследований мясного сырья, при исследовании рыбы охлажденной на следующем этапе эксперимента были исследованы методом ЭПР образцы кожи с чешуей, которые в виде наружного покрова обладают барьерными свойствами и могут быть использованы для идентификации рыбы, обработанной ионизирующим излучением. Чешуя карпа охлажденного представляет собой костные образования в виде крупных «лепестков».

Аналогичным образом были исследованы образцы кожи с чешуей и мышечной ткани карпа охлажденного. Спектры обработанных разными дозами ОКЧ и ОМТ представлены в приложении Е (рисунки Е.30–Е.33).

В результате проведенных исследований установлено, что при увеличении дозы облучения ОКЧ рыбы с 3 до 12 кГр произошло увеличение всех параметров ЭПР-сигнала: амплитуды – в 2,7 раза, площади пика – в 3,2 раза, ширины пика – в 1,1 раза ($p \leq 0,05$).

Следующим этапом эксперимента было установление возможности идентификации обработанной ионизирующим излучением рыбы охлажденной при исследовании мышечной ткани. Для исследования использовались те же опытные образцы охлажденной рыбы, обработанной разными дозами ионизирующего излучения, что и для исследования методом ЭПР по костной ткани (ОКТ) и коже с чешуей (ОКЧ).

В результате экспериментальных исследований установлено, что при увеличении дозы облучения ОМТ рыбы с 3 до 12 кГр произошло увеличение всех параметров ЭПР-сигнала: амплитуды – в 1,6 раза, площади пика – в 1,9 раза, ширины пика – в 1,1 раза ($p \leq 0,05$).

Полиномиальные модели ЭПР-спектров с коэффициентами достоверности аппроксимации R^2 при обработке ОКТ, ОКЧ и ОМТ карпа охлажденного разными дозами ионизирующего излучения представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Полиномиальные модели ЭПР-спектров при обработке разными дозами ионизирующего излучения ОКТ, ОКЧ и ОМТ карпа охлажденного

Доза облучения, кГр	Полиномиальная модель ЭПР-спектра	R^2
Образцы костной ткани		
3	$Y = 1 \cdot 10^{-10} X^5 - 1 \cdot 10^{-6} X^4 + 0,004 X^3 - 10,35 X^2 + 13535 X - 7 \cdot 10^6$	0,31
9	$Y = 2 \cdot 10^{-10} X^5 - 2 \cdot 10^{-6} X^4 + 0,006 X^3 - 16,15 X^2 + 21113 X - 1 \cdot 10^7$	0,45
10	$Y = 1 \cdot 10^{-10} X^5 - 1 \cdot 10^{-6} X^4 + 0,005 X^3 - 12,85 X^2 + 16800 X - 9 \cdot 10^6$	0,31
12	$Y = 2 \cdot 10^{-10} X^5 - 1 \cdot 10^{-6} X^4 + 0,005 X^3 - 13,33 X^2 + 17425 X - 9 \cdot 10^6$	0,53
Образцы мышечной ткани		
3	$Y = 1 \cdot 10^{-10} X^5 - 1 \cdot 10^{-6} X^4 + 0,005 X^3 - 12,52 X^2 + 16364 X - 9 \cdot 10^6$	0,24
9	$Y = 2 \cdot 10^{-10} X^5 - 2 \cdot 10^{-6} X^4 + 0,008 X^3 - 19,97 X^2 + 26109 X - 1 \cdot 10^7$	0,20
10	$Y = -2 \cdot 10^{-14} X^6 + 3 \cdot 10^{-10} X^5 - 3 \cdot 10^{-6} X^4 + 0,011 X^3 - 27,34 X^2 + 35732 X - 2 \cdot 10^7$	0,16
12	$Y = -2 \cdot 10^{-14} X^6 + 4 \cdot 10^{-10} X^5 - 3 \cdot 10^{-6} X^4 + 0,013 X^3 - 33,60 X^2 + 43912 X - 2 \cdot 10^7$	0,21
Образцы кожи с чешуей		
3	$Y = 2 \cdot 10^{-10} X^5 - 2 \cdot 10^{-6} X^4 + 0,006 X^3 - 16,43 X^2 + 21464 X + 1 \cdot 10^7$	0,35
9	$Y = 2 \cdot 10^{-10} X^5 - 2 \cdot 10^{-6} X^4 + 0,008 X^3 - 21,07 X^2 + 27536 X - 1 \cdot 10^7$	0,34
10	$Y = 3 \cdot 10^{-10} X^5 - 2 \cdot 10^{-6} X^4 + 0,009 X^3 - 23,70 X^2 + 30966 X - 2 \cdot 10^7$	0,32
12	$Y = -2 \cdot 10^{-14} X^6 + 3 \cdot 10^{-10} X^5 - 3 \cdot 10^{-6} X^4 + 0,011 X^3 - 21,17 X^2 + 35504 X - 2 \cdot 10^7$	0,36

Изменение амплитуды ЭПР-сигналов образцов костной ткани, образцов кожи с чешуей, образцов мышечной ткани не находится в линейной зависимости от дозы облучения. Установлено, что наиболее восприимчивы к увеличению дозы облучения ОКТ (рисунок 32), что, возможно, обусловлено плотностью костной ткани, бóльшим содержанием минеральных веществ по сравнению с ОКЧ. Изменение амплитуды ЭПР-сигналов ОКТ рыбы зависит от дозы облучения с высокой степенью достоверности – до 0,97, хотя численные значения более низкие по сравнению с ОМТ и ОКЧ; в образцах мышечной ткани также отмечается высокая степень корреляции – до 0,89. Корреляционная связь между дозой облучения и амплитудой в образцах кожи с чешуей весьма заметная – 0,79; ОКЧ более чутко реагируют на применение более высоких доз облучения, начиная с 10 кГр, что может быть обусловлено неоднородностью образца (сочетание рыхлого кожного покрова и более твердой, окостеневшей ткани чешуи).

Ширина ЭПР-сигналов имеет выраженную зависимость от дозы облучения и растет с увеличением дозы облучения ОКТ рыбы (рисунок 33) при высокой степени корреляционной связи – 0,995.

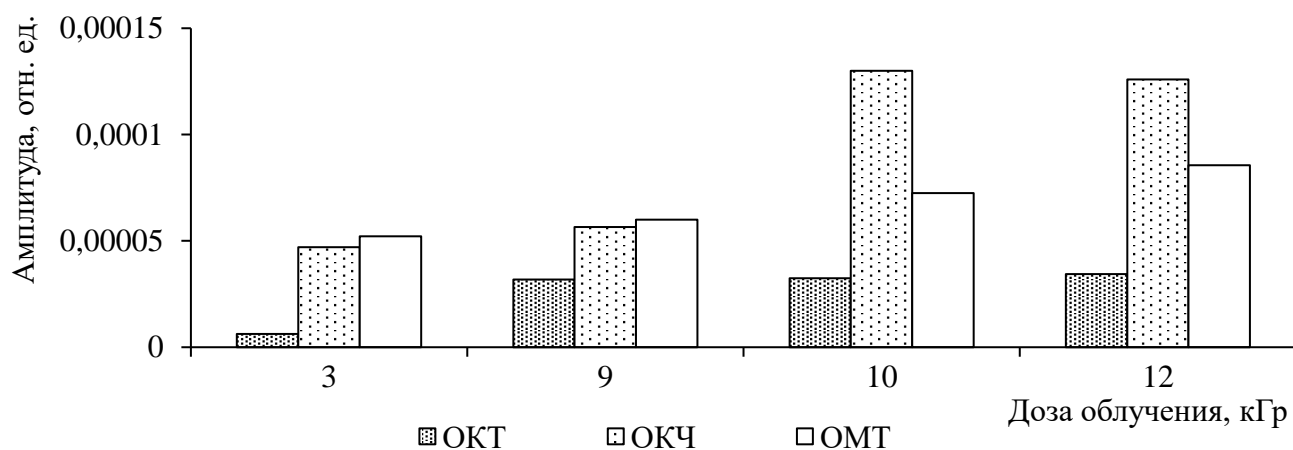


Рисунок 32 – Амплитуда ЭПР-сигналов ОКТ, ОКЧ и ОМТ рыбы, обработанных разными дозами ионизирующего излучения

Для ОКЧ изменение ширины ЭПР-сигналов отличается слабой зависимостью от дозы облучения – 0,26. Выявлена умеренная степень корреляционной зависимости изменения ширины ЭПР-сигнала от дозы облучения для ОМТ рыбы – 0,64. Однако и в ОКЧ, и в ОМТ отмечается уширение пика сигнала при обработке более низкими дозами (до 10 кГр), затем происходит сужение пика сигнала. Изменение ширины сигнала может определяться различием физических свойств среды – разной упругостью, электро- и теплопроводностью и неоднородностью (для кожи с чешуей) образцов.

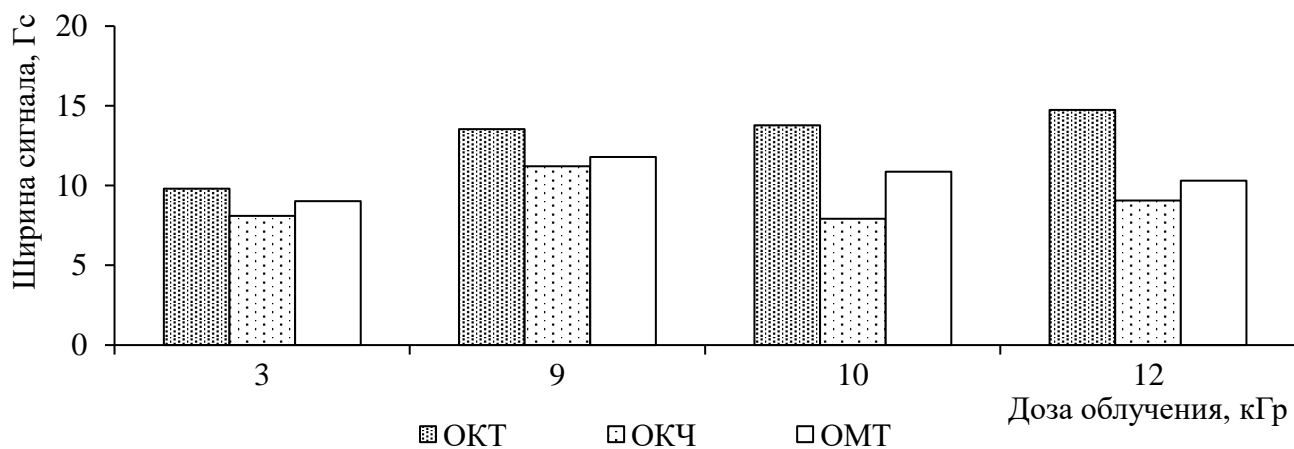


Рисунок 33 – Ширина ЭПР-сигналов ОКТ, ОКЧ и ОМТ рыбы, обработанных разными дозами ионизирующего излучения

Площадь ЭПР-сигналов при увеличении дозы облучения до 12 кГр увеличивается во всех образцах: в ОКТ – в 7,5 раза, в ОКЧ – в 3,2 раза, в ОМТ – в 1,9 раза с достоверно установленной степенью корреляции 0,99; 0,93, 0,97 соответственно (рисунок 34).

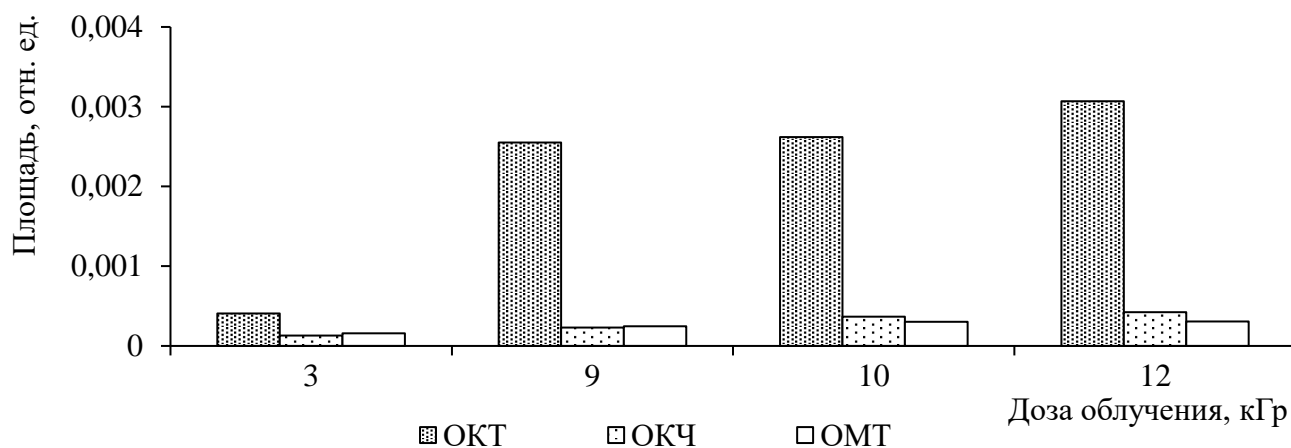


Рисунок 34 – Площадь ЭПР-сигналов ОКТ, ОКЧ и ОМТ рыбы, обработанных разными дозами ионизирующего излучения

Вычисление поглощенной дозы ионизирующего излучения проводили расчетным путем по формуле (7). Поглощенная доза с увеличением дозы облучения имеет ярко выраженную тенденцию к увеличению во всех образцах (рисунок 35): в ОКТ – в 14,3 раза (степень корреляции высокая – 0,94), в ОКЧ – в 10,8 раза (степень корреляции достаточно высокая – 0,86), в ОМТ – в 11,4 раза (степень корреляции достаточно высокая – 0,86).

В связи с тем, что в результате проведенных исследований отсутствие достоверно установленной зависимости амплитуды и ширины ЭПР-сигнала от дозы облучения в ОКЧ, можно сделать вывод о нецелесообразности использования смешанных образцов (кожа и чешуя) для идентификации и определения поглощенной дозы. Соответственно, целесообразнее составлять образцы для исследования отдельно, что позволяет в ходе пробоподготовки подготовить качественные однородные образцы для дальнейшего исследования.

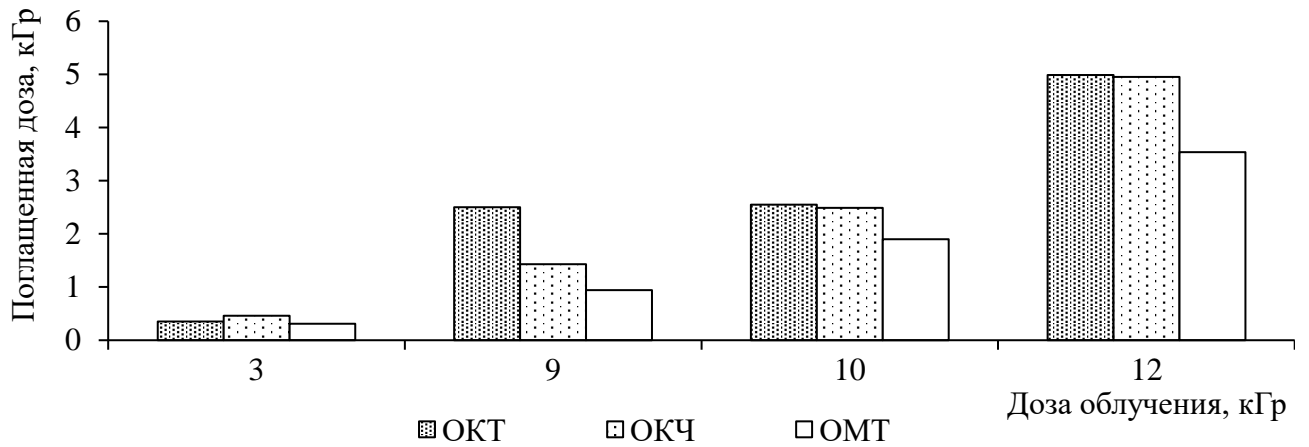


Рисунок 35 – Поглощенная доза ОКТ, ОКЧ и ОМТ рыбы, обработанных разными дозами ионизирующего излучения

Для ОКТ охлажденной рыбы множественный коэффициент корреляции (поглощенная доза – доза облучения – площадь сигнала) составляет 0,96. Трехмерная графическая интерпретация зависимости (рисунок 36) дает наглядное представление о совокупном влиянии факторов (дозы облучения X_1 и площади сигнала X_2) на поглощенную дозу ионизирующего излучения для ОКТ охлажденной рыбы. Полученные результаты являются статистически достоверными.

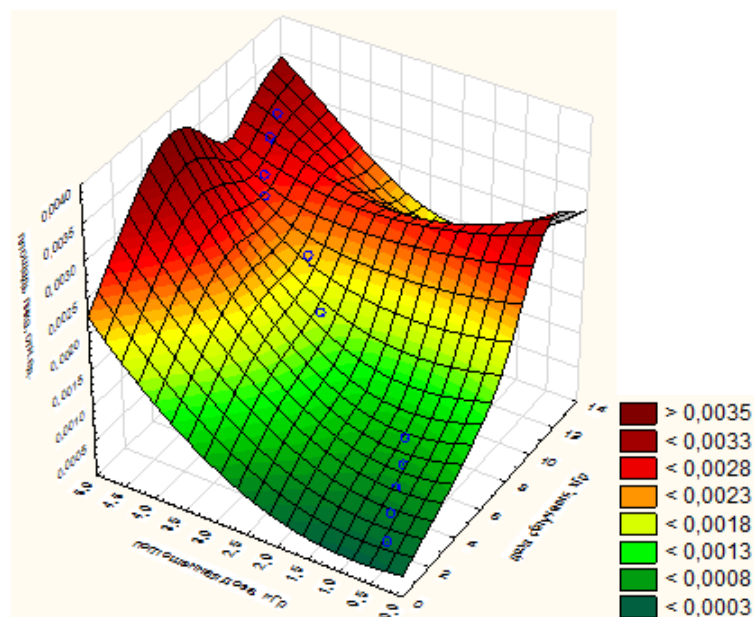


Рисунок 36 – Поверхность отклика $Y = f(X_1; X_2)$ для образцов костной ткани карпа охлажденного

Зависимость изменения поглощенной дозы Y от дозы облучения X_1 и площади сигнала X_2 для ОКТ рыбы представлена в виде уравнения регрессии с коэффициентом достоверности аппроксимации $R^2 = 0,98$, средней ошибкой аппроксимации $A = 0,28$ %:

$$Y = -0,289991 + 0,060845X_1 + 1434,83X_2. \quad (21)$$

Регрессионная зависимость изменения поглощенной дозы Y от дозы облучения X_1 и площади сигнала X_2 для ОКЧ охлажденной рыбы ($R^2 = 0,82$, $A = 0,68$ %):

$$Y = -0,7236 - 0,0406X_1 + 11638,6248X_2. \quad (22)$$

Влияние совокупности факторов на величину поглощенной дозы можно считать значимым с высокой степенью достоверности, равной 0,90.

С увеличением дозы облучения поглощенная доза в образцах мышечной ткани рыбы увеличивается с высокой степенью достоверности (коэффициент Пирсона равен 0,83). Трехмерная графическая интерпретация дает представление о влиянии совокупности факторов (дозы облучения X_1 и площади сигнала X_2) на поглощенную дозу (рисунок 37).

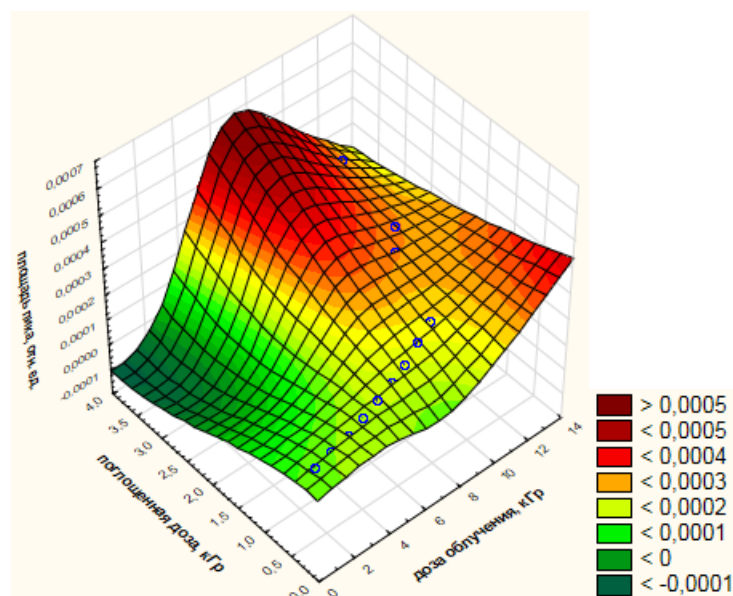


Рисунок 37 – Поверхность отклика $Y = f(X_1; X_2)$ для образцов мышечной ткани рыбы

Регрессионная зависимость изменения поглощенной дозы Y от дозы облучения X_1 и от площади сигнала X_2 для образцов мышечной ткани рыбы представлена уравнением ($R^2 = 0,77$, $A = 0,51$ %):

$$Y = 12,3295 - 0,2809X_1 - 94989,3768X_2 - 0,08X_1^2 + 9205,4117X_1X_2 + 1,2119E7X_2^2. \quad (23)$$

Опытным путем установлено, что разработанная автором диссертационного исследования методика определения поглощенных доз позволяет с высокой степенью достоверности рассчитать поглощенную дозу не только по ОКТ, но и по ОМТ рыбы. Зафиксировано увеличение поглощенной дозы с увеличением площади под линией сигнала ЭПР-спектра. Коэффициент корреляции Пирсона в ОКТ рыбы равен 0,94, в ОМТ – 0,86, что указывает на высокую степень силы статистической связи поглощенной дозы от площади сигнала.

Сравнительная ЭПР-спектроскопия образцов костной ткани, образцов мышечной ткани и образцов кожи с чешуей охлажденной рыбы, обработанной дозой излучения 12 кГр, визуально показывает, насколько различны спектры ЭПР ОКТ, ОМТ и ОКЧ (рисунок 38).

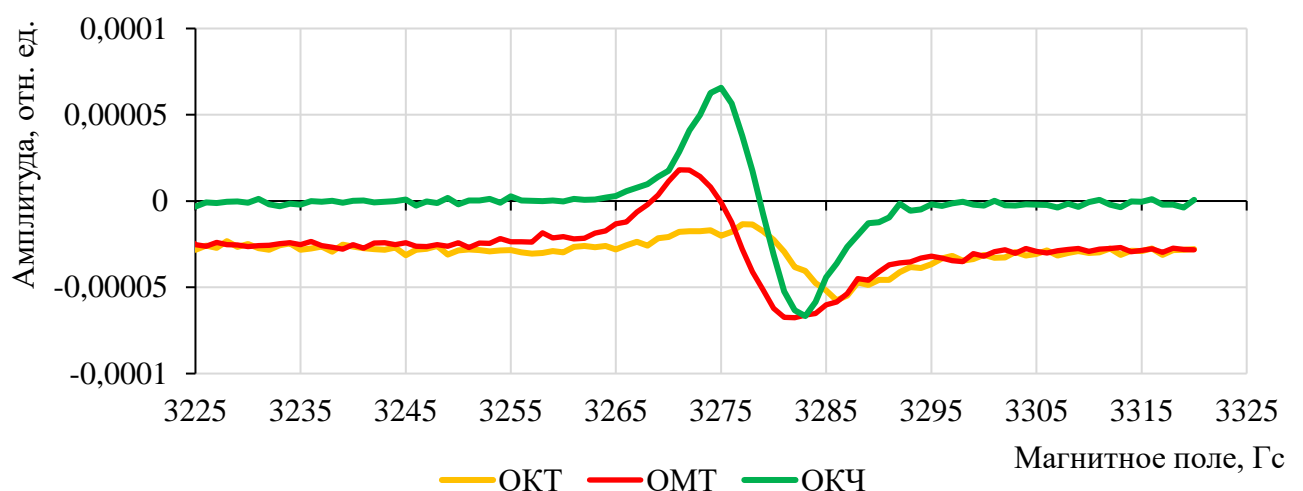


Рисунок 38 – Спектры ОКТ (g -фактор $2,0046 \pm 0,0001$), ОМТ (g -фактор $2,0063 \pm 0,0007$) и ОКЧ (g -фактор $2,0051 \pm 0,0002$) карпа охлажденного, обработанных дозой 12 кГр

В отличие от образцов мясного сырья, где четко видны более высокие амплитуды по костной ткани, после обработки охлажденной рыбы дозой 12 кГр в диапазоне поля 3260–3290 Гс появляются четкие ЭПР-сигналы по образцам ОКЧ. В ОКТ амплитуда пика составляет $(3,53 \pm 0,06) \cdot 10^{-5}$ отн. ед., ширина сигнала равна $(14,74 \pm 0,05)$ Гс, площадь пика достигла значения $(3,07 \pm 0,01) \cdot 10^{-3}$ отн. ед. ($p \leq 0,05$); для ОКЧ соответственно $(1,26 \pm 0,06) \cdot 10^{-4}$ отн. ед., $(9,06 \pm 0,08)$ Гс, $(4,23 \pm 0,06) \cdot 10^{-4}$ отн. ед.; для ОМТ – $(8,56 \pm 0,81) \cdot 10^{-5}$ отн. ед., $(10,31 \pm 0,15)$ Гс, $(3,06 \pm 0,16) \cdot 10^{-4}$ отн. ед. ($p \leq 0,05$). ЭПР-сигналы ОКЧ отличаются более высокими показателями амплитуды по сравнению с ОМТ (на 47,2 %) и ОКТ (в 3,6 раза), однако за счет широкого сигнала в ОКТ по сравнению с образцами ОКЧ (в 1,6 раза) и ОМТ (в 1,43 раза) установлено, что площадь под ЭПР-сигналом наибольшая у ОКТ. Зафиксированные ЭПР-сигналы с различными параметрами представлены на рисунке 37.

Таким образом, при сопоставлении полученных результатов по ОКТ, ОКЧ и ОМТ рыбного сырья можно сделать следующие выводы:

- ОКТ в результате воздействия ионизирующего излучения при более низких показателях амплитуды за счет более широких ЭПР-спектров отличаются большей площадью пика сигнала;

- в ОКЧ отсутствует достоверно установленная зависимость ширины ЭПР-сигналов от дозы облучения;

- ОКТ и ОКЧ (за счет чешуи, представленной твердыми костяными чешуйками) более восприимчивы к воздействию ионизирующего излучения; так, поглощенная доза при дозе облучения 12 кГр в ОКТ и ОКЧ по сравнению с ОМТ выше в 1,41 и 1,40 раза соответственно, что, вероятно, обусловлено твердостью и плотностью костной ткани.

В результате проведенных исследований установлено, что, несмотря на обработку ОКТ, ОКЧ и ОМТ одинаковыми дозами ионизирующего излучения, характеристика параметров ЭПР-сигнала и величина поглощенной дозы зависят от вида образца и его структуры. Целесообразно проводить идентификацию по образцам костной ткани рыбы и по образцам чешуи.

Разработанная автором методика пробоподготовки для разных составных частей рыбного сырья, отличающаяся продолжительностью сушки образцов в пределах от 24 до 30 ч при определенной влажности, позволяет получить устойчивые ЭПР-спектры в многократной повторности. Поглощенная доза после обработки дозой излучения до 12 кГр имеет значения ниже 10 кГр, что обеспечивает безопасность обработанной рыбы в соответствии с требованиями «Кодекс Алиментариус». Разработанная методика количественного определения поглощенной дозы по основным количественным характеристикам ЭПР-спектра образцов рыбного сырья, обработанных ионизирующим излучением, дает возможность с высокой степенью достоверности ($p \leq 0,05$) определить поглощенную дозу ионизирующего излучения не только по образцам костной ткани, но и по мышечной ткани и по чешуе.

При повторном исследовании ранее обработанных разными дозами ионизирующего излучения образцов костной ткани охлажденной рыбы через 12 мес. установлено, что интенсивность ЭПР-сигналов сохраняется. Полученные результаты согласуются с данными исследователей [264; 309; 346; 390], что позволяет осуществлять идентификацию рыбы, подвергнутой воздействию ионизирующего излучения, через более длительный промежуток времени после обработки.

Полученные материалы имеют важное теоретическое и практическое значение для выявления обработанных ионизирующим излучением пищевых продуктов и количественной дозиметрии по разным составным частям рыбной продукции.

3.6 Качественная и количественная идентификация пряностей

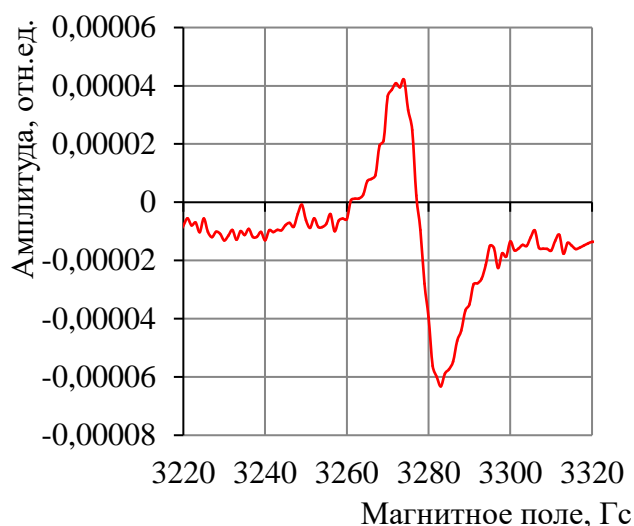
Для увеличения срока годности пищевых продуктов, в том числе пряностей, и уменьшения микробиологической обсемененности с последнего десятилетия прошлого века ФАО и ВОЗ одобрили применение ионизирующего излучения для обработки пищевых продуктов. Как ранее было установлено, перец черный молотый, чили острый и чили жгучий были обработаны ионизирующим излучением до

проведения нами исследований, перец белый молотый и куркума молотая не подвергались воздействию ионизирующего излучения (см. главу 3).

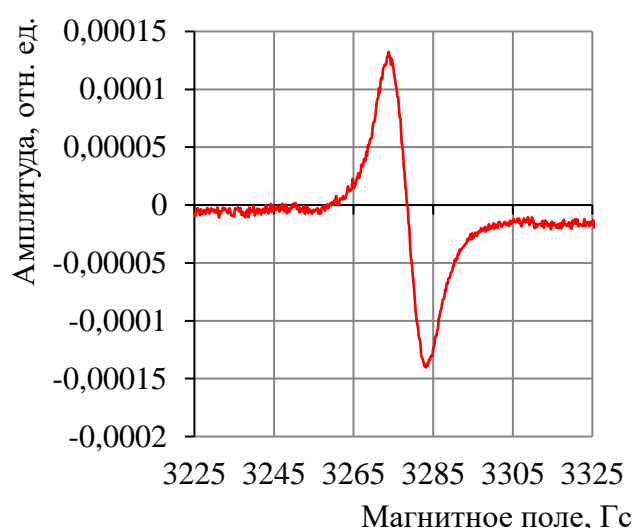
Пряности обрабатывались дозой до 12 кГр в соответствии с ГОСТ 33271-2015 «Пряности сухие, травы и приправы овощные. Руководство по облучению в целях борьбы с патогенными и другими микроорганизмами» и ГОСТ 34155-2017 «Руководство по дозиметрии при исследовании влияния радиации на пищевые и сельскохозяйственные продукты». Обработанные образцы исследовали методом ЭПР по ГОСТ 31672-2012 «Пищевые продукты. Метод электронного парамагнитного резонанса для выявления радиационно-обработанных продуктов, содержащих целлюлозу» и определяли основные параметры ЭПР-сигнала. При этом нами была проведена количественная идентификация и установлена поглощенная доза после обработки ионизирующим излучением ранее необработанных или повторно обработанных пряностей методом ЭПР расчетным путем по формуле (7) согласно разработанной методике количественного определения поглощенных доз, представленной в п. 3.2, а также путем картирования дозы фотоспектроскопическим методом при размещении дозиметров (полимерной пленки СО ПД(7)-1/10 и СО ПД(Ф)Р-5/50) на поверхности и внутри образца пряностей, имеющих мелкодисперсионную структуру, согласно ГОСТ 33271-2015 и ГОСТ 34155-2017 [45; 53]. Все исследования проводились в пятикратной повторности.

При дозе облучения 12 кГр (рисунок 39а) в образцах перца белого молотого установлен ярко выраженный спектр в диапазоне поля 3220–3320 Гс, в отличие от необработанного образца с амплитудой пика $(1,08 \pm 0,01) \cdot 10^{-4}$ отн. ед., шириной до $(12,00 \pm 0,02)$ Гс и площадью $(1,30 \pm 0,01) \cdot 10^{-3}$ отн. ед. В образцах перца черного молотого при этой же дозе установлены амплитуда $(2,69 \pm 0,02) \cdot 10^{-4}$ отн. ед., ширина $(16,00 \pm 0,04)$ Гс и площадь $(4,30 \pm 0,04) \cdot 10^{-3}$ отн. ед. (рисунок 39б).

После обработки образцов чили жгучего молотого дозой 12 кГр (приложение Е, рисунок Е.34а) наблюдается амплитуда пика $(5,86 \pm 0,07) \cdot 10^{-5}$ отн. ед. и ширина $(16,00 \pm 0,04)$ Гс ($p \leq 0,05$). Площадь составила $(4,36 \pm 0,13) \cdot 10^{-4}$ отн. ед. Показатель «сигнал/шум» – 8,8097.



а – перец белый молотый



б – перец черный молотый

Рисунок 39 – Спектры образцов перца белого молотого и перца черного молотого, обработанных дозой 12 кГр (g -фактор $2,0050 \pm 0,0001$) ($p \leq 0,05$)

После обработки дозой 12 кГр в образцах чили острого молотого амплитуда пика составила $(4,72 \pm 0,03) \cdot 10^{-5}$ отн. ед., ширина сигнала $(10,00 \pm 0,02)$ Гс, площадь пика $(4,80 \pm 0,05) \cdot 10^{-4}$ отн. ед. (приложение Е, рисунок Е.34б). Для образцов куркумы молотой при той же дозе амплитуда составила $(5,31 \pm 0,05) \cdot 10^{-4}$ отн. ед. при ширине $(12 \pm 0,02)$ Гс и площади $(6,37 \pm 0,09) \cdot 10^{-3}$ отн. ед. (приложение Е, рисунок Е.35).

Полиномиальные модели ЭПР-спектров молотых пряностей с коэффициентами достоверности аппроксимации R^2 при обработке дозой 12 кГр представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Полиномиальные модели ЭПР-спектров при обработке молотых пряностей дозой 12 кГр

Вид пряности	Полиномиальная модель ЭПР-спектра	R^2
Перец белый	$Y = 2 \cdot 10^{-12}X^4 - 7 \cdot 10^{-9}X^3 + 2 \cdot 10^{-5}X^2 + 0,0256X + 14,385$	0,21
Перец черный	$Y = 1 \cdot 10^{-10}X^5 - 1 \cdot 10^{-6}X^4 + 0,0042X^3 - 10,283X^2 + 13370X - 7 \cdot 10^6$	0,22
Чили жгучий	$Y = 2 \cdot 10^{-11}X^5 - 1 \cdot 10^{-7}X^4 + 0,0008X^3 - 1,9476X^2 + 2523,8X + 1 \cdot 10^6$	0,29
Чили острый	$Y = 3 \cdot 10^{-13}X^4 - 1 \cdot 10^{-9}X^3 + 4 \cdot 10^{-6}X^2 - 0,0068X + 4,2458$	0,24
Куркума	$Y = 1 \cdot 10^{-11}X^4 - 6 \cdot 10^{-8}X^3 + 0,0001X^2 - 0,1908X + 104,49$	0,84

В результате проведенных исследований установлено, что все образцы пряностей, обработанные дозой 12 кГр, дают характерные спектры сигналов, зафиксированные методом электронного парамагнитного резонанса на ЭПР-спектрометре; амплитуда и ширина пика, площадь ЭПР-сигналов образцов пряностей с увеличением дозы облучения возрастают. Доказано, что повторная обработка не дает эффекта накопления. Выявлено, что наиболее восприимчивы к дозе облучения 12 кГр образцы перца черного молотого, куркумы молотой и перца белого молотого с поглощенными дозами $(9,6 \pm 0,3)$; $(9,3 \pm 0,2)$ и $(8,5 \pm 0,3)$ кГр соответственно ($p \leq 0,05$). Образцы чили жгучего молотого и чили острого молотого поглощают дозу до $(4,3 \pm 0,13)$ и $(4,2 \pm 0,11)$ кГр соответственно, что может быть обусловлено более высоким содержанием в них влаги.

Поглощенная доза после воздействия дозой облучения до 12 кГр имеет значения ниже 10 кГр, что обеспечивает безопасность пряностей молотых в соответствии с требованиями «Кодекс Алиментариус» и предлагаемыми минимальными дозами облучения для некоторых пряностей согласно ГОСТ 33271-2015. Разработанная методика позволяет определить поглощенную дозу ионизирующего излучения.

При повторном исследовании ранее обработанных разными дозами ионизирующего излучения образцов пряностей через 18 мес. установлено, что интенсивность ЭПР-сигналов сохраняется.

3.7 Качественная и количественная идентификация плодов

С 2017 г. на территории РФ разрешена обработка ионизирующим излучением свежей сельскохозяйственной продукции согласно ГОСТ 33302-2015 «Продукция сельскохозяйственная свежая. Руководство по облучению в целях фитосанитарной обработки». Целью применения ионизирующего излучения является обеспечение соответствия фитосанитарных требований путем снижения численности насекомых-вредителей. ГОСТ 33302-2015 устанавливает типичный диапазон поглощен-

ных доз в пределах от 150 до 600 Гр, определяя возможность изменения указанных границ в зависимости от типа вредителей, подлежащих уничтожению, а также допустимой (без ухудшения качества) дозы облучения для конкретного вида плодов с учетом сорта, региона произрастания, условий выращивания и сбора, времени от момента сбора до момента обработки ионизирующим излучением. К минимальным дозам устойчивы некоторые виды плодов и ягод, в том числе яблоки, цитрусовые, смородина, финики, инжир, виноград, киви, личи, манго, нектарины, персики, чернослив, малина, клубника [46]. Основные положения ГОСТ 33302-2015 учтены при проведении процедуры обработки ионизирующим излучением.

Для идентификации обработанных разными дозами ионизирующего излучения плодов свежих и переработанных в качестве методологической базы были приняты основные положения ГОСТ 31672-2012 «Продукты пищевые. Метод электронного парамагнитного резонанса для выявления радиационно-обработанных продуктов, содержащих целлюлозу» (проверен разработчиками стандарта на землянике, фисташках и перце красном молотом); ГОСТ 31652-2012 «Продукты пищевые. Метод электронного парамагнитного резонанса для выявления радиационно-обработанных продуктов, содержащих кристаллический сахар» (для сухофруктов). Помимо вышеуказанных стандартов были учтены основные положения, которые содержатся в ГОСТ Р 52529-2006 «Мясо и мясные продукты. Метод электронного парамагнитного резонанса для выявления радиационно-обработанных мяса и мясопродуктов, содержащих костную ткань». Все исследования проводились в пятикратной повторности.

Эксперимент проводили по исследованию методом ЭПР плодов, обработанных дозами до 12 кГр, и установлению параметров ЭПР-сигналов; проводился расчет поглощенных доз ионизирующего излучения.

Для эксперимента были отобраны следующие образцы: изюм (импортное производство), яблоко свежее (отечественное производство). У изюма исследовалась кожица с мякотью, в яблоках – кожура и мякоть как отдельные образцы.

При исследовании исходных образцов изюма, представленного на потребительском рынке г. Екатеринбурга, установлено, что изюм не подвергался ранее

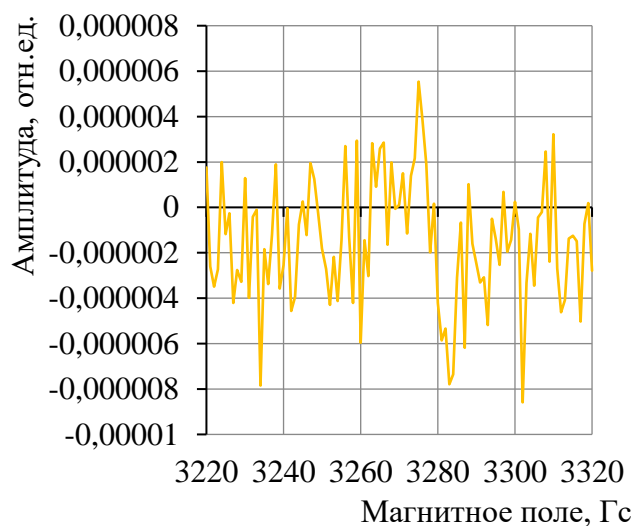
воздействию ионизирующего излучения, так как отсутствуют характерные ЭПР-спектры (приложение Е, рисунок Е.36а). На следующем этапе эксперимента изюм подвергали обработке ионизирующим излучением дозой 12 кГр. В приложении Е (рисунок Е.36б) приведен спектр образцов изюма сушеного после его обработки. Для идентификации изюма, обработанного ионизирующим излучением, использовали метод ЭПР, заключающийся в визуальном сравнении ЭПР-спектров, полученных от образцов изюма, со спектрами, указанными в ГОСТ 31652-2012 «Продукты пищевые. Метод электронного парамагнитного резонанса для выявления радиационно-обработанных продуктов, содержащих кристаллический сахар» [43]. Исходный (для образца, не подвергавшегося воздействию ионизирующего излучения) и появившийся сигнал от обработанного образца располагаются идентично на оси магнитного поля. После обработки дозой 12 кГр появляются типичные многокомпонентные спектры ЭПР – мультиплет, состоящий из трех отчетливо различаемых пиков с малой амплитудой. Параметры мультиплета: амплитуда – $(3,63 \pm 0,05) \cdot 10^{-4}$ отн. ед., ширина – $(28,14 \pm 0,08)$ Гс, площадь – $(3,22 \pm 0,01) \cdot 10^{-3}$ отн. ед. ($p \leq 0,05$).

Для исследований плодов свежих использованы яблоки свежие помологического сорта «Ренет Платона Симиренко» отечественного производства. До обработки было установлено, что яблоки ранее не подвергались воздействию ионизирующего излучения. Образцы яблок обрабатывали ионизирующим излучением дозами 3; 6; 9 и 12 кГр (п. 2.3 диссертационного исследования).

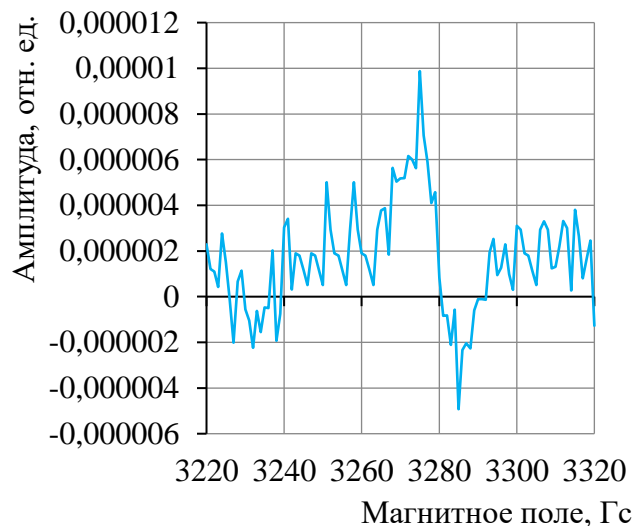
Для идентификации яблок свежих, обработанных ионизирующим излучением, использовали метод ЭПР, заключающийся в визуальном сравнении ЭПР-спектров, полученных от образцов яблок свежих, со спектрами, указанными в соответствующих стандартах, в частности, ГОСТ 31652-2012 «Продукты пищевые. Метод электронного парамагнитного резонанса для выявления радиационно-обработанных продуктов, содержащих кристаллический сахар» и в ГОСТ 31672-2012 «Продукты пищевые. Метод электронного парамагнитного резонанса для выявления радиационно-обработанных продуктов, содержащих целлюлозу». Исследования проводили по указанным стандартам, но не только путем визуального сравнения ЭПР-спектров яблок, обработанных разными дозами ионизирующего

излучения, а с использованием компьютерной программы для определения параметров ЭПР-спектра с различными параметрами: g -фактор, амплитуда, ширина и площадь пика, что позволило достоверно определить зависимость указанных параметров от дозы облучения. Пробоподготовка мякоти и кожуры осуществлялась в соответствии с разработанной методикой. Исследования по мякоти яблок не позволили достоверно идентифицировать обработанную ионизирующим излучением продукцию, в отличие от исследований по кожуре яблок.

На рисунке 40а представлен ЭПР-спектр образцов яблок сорта «Ренет Платона Симиренко», обработанных дозой 3 кГр. При этом зафиксирован типичный многокомпонентный спектр ЭПР – мультиплет, состоящий из трех хорошо различаемых пиков с различной амплитудой, идентичный обработанным ионизирующим излучением продуктам, содержащим кристаллический сахар, согласно ГОСТ 31652-2012. Установлено, что указанный мультиплет отмечается в диапазоне магнитного поля 3270–3290 Гс.



a – 3 кГр
 $(g_1\text{-фактор } 2,0046 \pm 0,0004;$
 $g_2\text{-фактор } 2,0041 \pm 0,0006;$
 $g_3\text{-фактор } 2,0025 \pm 0,0001)$



б – 6 кГр
 $(g_1\text{-фактор } 2,0045 \pm 0,0007;$
 $g_2\text{-фактор } 2,0041 \pm 0,0008;$
 $g_3\text{-фактор } 2,0024 \pm 0,0002)$

Рисунок 40 – ЭПР-спектры образцов яблок сорта «Ренет Платона Симиренко», обработанных дозами 3 и 6 кГр с разными g -факторами ($p \leq 0,05$)

Параметры ЭПР-спектра следующие ($p \leq 0,05$):

– 1-й пик: амплитуда – $(1,31 \pm 0,11) \cdot 10^{-5}$ отн. ед., ширина сигнала – $(7,91 \pm 0,07)$ Гс, площадь пика – $(4,20 \pm 0,10) \cdot 10^{-5}$ отн. ед.;

– 2-й пик: амплитуда – $(5,88 \pm 0,09) \cdot 10^{-6}$ отн. ед., ширина сигнала – $(2,06 \pm 0,06)$ Гс, площадь пика – $(8,7 \pm 0,17) \cdot 10^{-6}$ отн. ед.;

– 3-й пик: амплитуда – $(2,46 \pm 0,09) \cdot 10^{-6}$ отн. ед., ширина сигнала – $(1,11 \pm 0,07)$ Гс, площадь пика – $(1,7 \pm 0,06) \cdot 10^{-5}$ отн. ед.

После обработки образцов яблок свежих дозами 6 и 9 кГр наблюдались аналогичные многокомпонентные спектры ЭПР в диапазоне магнитного поля 3270–3290 Гс. При обработке яблок дозой 6 кГр (рисунок 40б) установлен спектр ЭПР-сигнала с тремя пиками, характеристики которых отличаются от характеристик пиков образцов, обработанных дозой 3 кГр ($p \leq 0,05$):

– 1-й пик: отмечается увеличение амплитуды до $(1,82 \pm 0,18) \cdot 10^{-5}$ отн. ед., или на 38,9 %, при сужении ширины сигнала до $(7,03 \pm 0,04)$ Гс, или на 11,1 %; площадь пика увеличилась до $(5,80 \pm 0,17) \cdot 10^{-5}$ отн. ед., или на 38,1 %;

– 2-й пик: при увеличении амплитуды до $(6,88 \pm 0,09) \cdot 10^{-6}$ отн. ед., или на 17,0 % и сужении ширины сигнала до $(1,66 \pm 0,08)$ Гс, или на 19,4 %, площадь пика увеличилась до $(9,3 \pm 0,11) \cdot 10^{-6}$, или на 6,9 %;

– 3-й пик: установлено увеличение амплитуды до $(3,15 \pm 0,67) \cdot 10^{-6}$ отн. ед., или на 28,0 %, при сужении ширины сигнала до $(0,87 \pm 0,05)$ Гс, или на 21,6 %, при этом площадь пика увеличилась до $(1,9 \pm 0,51) \cdot 10^{-5}$ отн. ед., или на 11,7 %.

После обработки яблок свежих дозой 9 кГр установлен спектр ЭПР-сигнала с тремя сглаженными пиками (приложение Е, рисунок Е.37а), характеристики которых отличаются от характеристик пиков образцов, обработанных дозой 6 кГр:

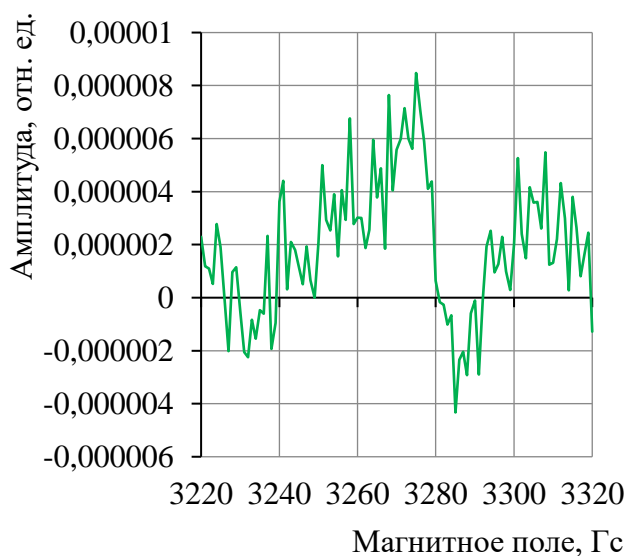
– 1-й пик: отмечается увеличение амплитуды до $(2,81 \pm 0,11) \cdot 10^{-5}$ отн. ед., или на 54,4 %, при сужении ширины сигнала до $(3,01 \pm 0,04)$ Гс, или на 57,2 %, площадь пика увеличилась до $(8,3 \pm 0,10) \cdot 10^{-5}$ отн. ед., или на 43,1 % ($p \leq 0,01$);

– 2-й пик: отмечается увеличение амплитуды до $(8,61 \pm 0,01) \cdot 10^{-6}$ отн. ед., или на 25,1 %, при сужении ширины сигнала до $(1,08 \pm 0,09)$ Гс, или на 34,9 %, площадь пика увеличилась до $(10,38 \pm 0,11) \cdot 10^{-6}$ отн. ед., или на 11,6 % ($p \leq 0,05$);

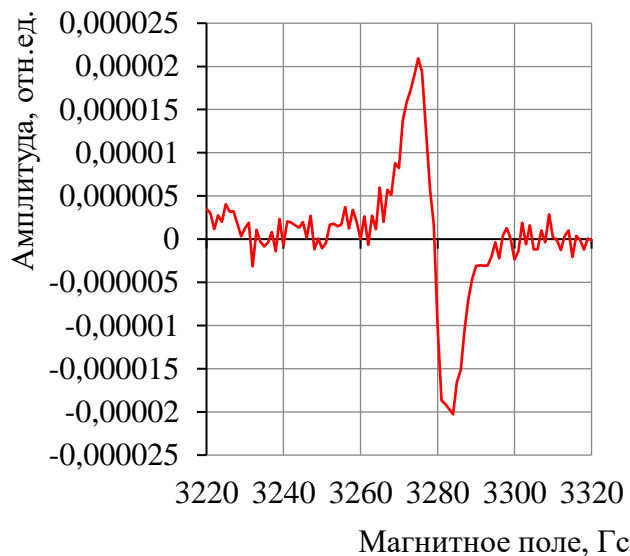
– 3-й пик: установлено увеличение амплитуды до $(3,93 \pm 0,60) \cdot 10^{-6}$ отн. ед., или на 24,8 % при сужении ширины сигнала до $(0,52 \pm 0,04)$ Гс, или на 40,2 %, площадь пика увеличилась до $(2,2 \pm 0,47) \cdot 10^{-5}$ отн. ед., или на 15,8 % ($p \leq 0,05$).

При увеличении дозы облучения до 12 кГр отмечается изменение формы ЭПР-сигнала: зафиксировано полное сглаживание двух мелких пиков и появление ЭПР-спектра с одной линией поглощения, который характерен для обработанных ионизирующим излучением продуктов, содержащих целлюлозу, согласно ГОСТ 31672-2012 (приложение Е, рисунок Е.37б). Обнаруженный спектр, подобный спектрам по вышеуказанному ГОСТ, позволяет идентифицировать продукт как обработанный ионизирующим излучением.

При дозе 12 кГр (рисунок 41б) ЭПР-спектр наблюдается в диапазоне магнитного поля 3270–3290 Гс. Амплитуда пика увеличивается до $(4,07 \pm 0,05) \cdot 10^{-5}$ отн. ед., или на 27,2 %, при сужении ширина пика до $(8,37 \pm 0,16)$ Гс, или на 15,5 %, площадь увеличивается до $(1,29 \pm 0,02) \cdot 10^{-4}$, или на 22,9 % ($p \leq 0,05$).



a – 9 кГр
(g_1 -фактор $2,0045 \pm 0,0007$;
 g_2 -фактор $2,0042 \pm 0,0003$;
 g_3 -фактор $2,0024 \pm 0,0002$)



б – 12 кГр
(g -фактор $2,0044 \pm 0,0004$)

Рисунок 41 – ЭПР-спектры образцов яблок сорта «Ренет Платона Симиренко», обработанных дозами 9 и 12 кГр с разными g -факторами ($p \leq 0,05$)

Полиномиальные модели ЭПР-спектров при обработке ионизирующим излучением плодов свежих разными дозами представлены в таблице 10.

Таблица 10 – Полиномиальные модели ЭПР-спектров при обработке разными дозами ионизирующего излучения яблок свежих

Доза облучения, кГр	Полиномиальная модель ЭПР-спектра	R^2
3	$Y = 2 \cdot 10^{-11}X^5 - 2 \cdot 10^{-7}X^4 - 2,115X^2 + 2763X - 2 \cdot 10^{-6}$	0,10
9	$Y = 4 \cdot 10^{-11}X^5 - 4 \cdot 10^{-7}X^4 + 0,001X^3 - 3,886X^2 + 5073X - 3 \cdot 10^{-6}$	0,34
10	$Y = 4 \cdot 10^{-11}X^5 - 3 \cdot 10^{-7}X^4 + 0,001X^3 - 3,212X^2 + 4195X - 2 \cdot 10^{-6}$	0,44
12	$Y = 1 \cdot 10^{-10}X^5 - 1 \cdot 10^{-6}X^4 + 0,004X^3 - 10,86X^2 + 14194X - 8 \cdot 10^6$	0,23

В результате обработки ионизирующим излучением образцов яблок выявлена различная способность к поглощению доз: чем выше доза облучения, тем выше поглощенная доза (с высокой степенью достоверности 0,99). Так, при дозе облучения 3 кГр поглощенная доза составляет $(1,23 \pm 0,07)$ кГр (коэффициент соотношения между дозой облучения и поглощенной дозой равен 0,41), при увеличении дозы облучения до 12 кГр доза поглощения равна $(6,64 \pm 0,11)$ кГр (коэффициент соотношения увеличился до 0,55) (рисунок 41).

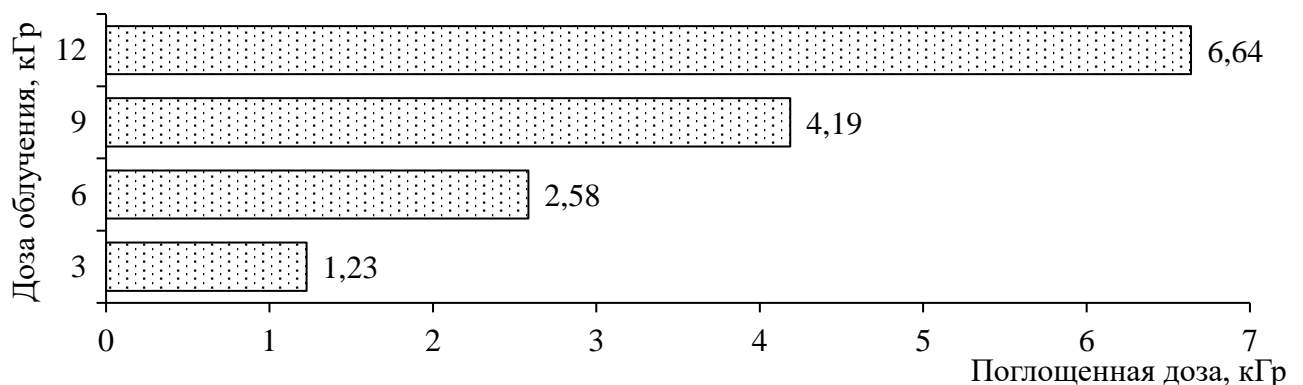


Рисунок 42 – Поглощенная доза образцов яблок свежих, обработанных дозами ионизирующего излучения

Таким образом, полученные экспериментальные данные свидетельствуют о том, что при увеличении дозы облучения с 3 до 12 кГр площадь пика ЭПР-спектра

обработанных ионизирующим излучением яблок свежих достоверно увеличивается на 61,4 %, амплитуда – на 120,2 %, ширина пика уменьшается на 24,5 %, при этом коэффициент соотношения между дозой облучения и дозой поглощения возрастает на 34,1 % (с 0,41 до 0,55).

В соответствии с разработанной методикой определения поглощенной дозы по параметрам ЭПР-сигнала рассчитаны поглощенные дозы для плодов свежих. При увеличении дозы облучения до 12 кГр поглощенная доза увеличивается в 5,4 раза до 6,2–7,0 кГр по сравнению с образцами яблок, обработанных дозой 3 кГр ($p \leq 0,05$). Полученные результаты соответствуют требованиям безопасности обработанной пищевой продукции согласно «Кодекс Алиментариус».

Через 12 мес. после облучения интенсивность ЭПР-сигналов в образцах кожицы обработанных яблок сохраняется, что позволяет обеспечить контроль за безопасностью пищевой продукции, ранее обработанной ионизирующим излучением.

Соответственно, методом ЭПР можно с высокой степенью достоверности идентифицировать плоды свежие и ягоды переработанные, содержащие целлюлозу или кристаллический сахар, как обработанные ионизирующим излучением или необработанные. Установлено, что исследованные образцы изюма сушеного и яблок свежих, обработанных разными дозами, дают различные спектры сигналов (синглет или мультиплет), установленные методом электронного парамагнитного резонанса на ЭПР-спектрометре; амплитуда и площадь пика ЭПР-сигналов с увеличением дозы облучения возрастают. Форма ЭПР-сигналов разных образцов в зависимости от дозы облучения соизмерима с отличающимися друг от друга формами ЭПР-сигналов согласно ГОСТ Р 52529-2006, ГОСТ 31652-2012 и ГОСТ 31672-2012. Выявлена высокая степень корреляционной зависимости поглощенной дозы от дозы облучения (коэффициент Пирсона равен 0,99).

В результате исследований установлено, что на потребительском рынке Свердловской области в нарушение российского законодательства присутствовали обработанные ионизирующим излучением охлажденная рыбная продукция, некоторые виды пряностей и плоды импортного производства до официальной регламентации радиационных технологий. До потребителя не доведена достоверная информация согласно требованиям ТР ТС 022/2011 «Пищевая продукция в части ее маркировки» и ГОСТ 33800-2016 «Продукция пищевая облученная. Общие требования к маркировке».

Для оперативного контроля процесса облучения разработаны прогнозные математические модели расчетной поверхностной поглощенной дозы ионизирующего излучения в зависимости от технологических параметров и видов пищевой продукции. Модели являются качественными и применимы для пищевой продукции с однородной и неоднородной структурой.

В соответствии с задачами диссертационной работы для повышения эффективности идентификации пищевой продукции, обработанной ионизирующим излучением, нами адаптирована методика пробоподготовки для образцов костной ткани разных видов сельскохозяйственных животных и птицы по параметрам: продолжительность и время сушки, содержание остаточной влаги; разработана методика пробоподготовки для мышечной ткани мясного и рыбного сырья; разработана методика пробоподготовки для образцов кожи с чешуей (целесообразно использовать образцы собственно чешуи) и для образцов плодов свежих (по кожице); предложено дополнить методику пробоподготовки таким параметром, как время сушки.

Впервые разработана методика определения поглощенных доз ионизирующего излучения и предложена расчетная унифицированная формула (7), позволяющая с высокой степенью достоверности рассчитывать поглощенную дозу, используя в качестве переменных массу образца и площадь ЭПР-сигнала (отн. ед.).

На основании исследований проведена качественная и количественная идентификация по параметрам ЭПР-спектра (амплитуда, ширина, площадь) образцов

мясного сырья (говядина, свинина, мясо птицы, мясо косули, мясокостные полуфабрикаты), рыбы охлажденной, пряностей молотых и плодов свежих, обработанных ионизирующим излучением, согласно данным автоматизированной программы к ЭПР-спектрометру путем визуализации в графическом изображении (синглет, мультиплет), установления численных значений параметров и в виде полиномиальных уравнений. Впервые установлена практическая возможность качественной и количественной идентификации обработанных ионизирующим излучением образцов по разным составным частям: костная ткань, мышечная ткань, кожа с чешуей, молотые плоды пряностей, кожица плодов. Зафиксирована зависимость изменения основных параметров от дозы облучения. Несмотря на более высокие значения ЭПР-сигнала по образцам костной ткани мясного и рыбного сырья, установлена с высокой степенью достоверности возможность идентификации обработанного ионизирующим излучением мясного и рыбного сырья, не содержащего костную ткань, – по мышечной части мясного и рыбного сырья.

Впервые рассчитаны поглощенные дозы согласно разработанной методике определения поглощенной дозы ионизирующего излучения по формуле (7) после обработки ионизирующим излучением в разных дозах пищевой продукции различных видов. Установлена высокая степень корреляционной зависимости изменения поглощенной дозы от дозы облучения и площади ЭПР-сигнала как комплексного показателя, изменяющегося в зависимости от изменения амплитуды и ширины ЭПР-сигнала. Несмотря на обработку образцов одинаковыми дозами ионизирующего излучения, поглощенная доза зависит от вида животных и плодов, структуры ткани образца, влагоудерживающей способности и других факторов. Опытным путем установлено, что разработанная методика определения поглощенных доз ионизирующего излучения позволяет с высокой степенью достоверности рассчитать поглощенную дозу по образцам костной и мышечной тканей мясного сырья, по образцам костной и мышечной ткани и кожи с чешуей охлажденной рыбы, по молотым плодам пряностей сушеных и по кожице яблок свежих. Для всех образцов мясного сырья, рыбы охлажденной, пряностей и плодов свежих (яблоко) установлено, что поглощенная доза после обработки дозой ионизирующего излучения до 12 кГр имеет значения ниже 10 кГр, что соответствует требованиям безопасности

облученной продукции по «Кодекс Алиментариус». Основные параметры ЭПР-сигнала и поглощенные дозы при обработке дозой 12 кГр ($p \leq 0,05$):

– для говядины, содержащей костную ткань: амплитуда пика составляет $(5,0...5,1) \cdot 10^{-4}$ отн. ед., ширина сигнала – 8,2–8,4 Гс, площадь – $(6,9...7,1) \cdot 10^{-3}$ отн. ед., поглощенная доза – 7,6–8,6 кГр; содержащей мышечную ткань: амплитуда – $(1,4...1,6) \cdot 10^{-4}$ отн. ед., ширина – 11,7–11,9 Гс, площадь – $(2,9...3,2) \cdot 10^{-3}$ отн. ед., поглощенная доза – 5,3–6,0 кГр;

– для свинины, содержащей костную ткань: амплитуда $(4,7...4,8) \cdot 10^{-4}$ отн. ед., ширина – 8,3–8,4 Гс, площадь – $(6,4...7,0) \cdot 10^{-3}$ отн. ед., поглощенная доза – 7,6–8,2 кГр; содержащей мышечную ткань: амплитуда $(0,9...1,1) \cdot 10^{-4}$ отн. ед., ширина – 15,1–15,4 Гс, площадь – $(6,7...6,9) \cdot 10^{-3}$ отн. ед., поглощенная доза – 4,9–5,6 кГр;

– для мяса птицы, содержащего костную ткань: амплитуда $(1,1...1,2) \cdot 10^{-4}$ отн. ед., ширина – 12,2–12,3 Гс, площадь – $(3,6...3,7) \cdot 10^{-3}$ отн. ед., поглощенная доза – 5,0–6,0 кГр; содержащего мышечную ткань: амплитуда $(7,6...8,1) \cdot 10^{-5}$ отн. ед., ширина – 10,3–10,8 Гс, площадь – $(1,1...1,2) \cdot 10^{-3}$ отн. ед., поглощенная доза – 3,5–4,3 кГр; ОКТ отличаются высокой радиочувствительностью, соответственно, более восприимчивы к воздействию ионизирующего излучения (поглощенная доза при обработке дозой 12 кГр в ОКТ по сравнению с ОМТ выше по свинине в 1,49 раза, по говядине – 1,44 раза, по птице – 1,42 раза);

– для мяса косули, содержащего костную ткань: амплитуда пика $(4,3...4,6) \cdot 10^{-4}$ отн. ед., ширина – 7,2–7,6 Гс, площадь – $(4,3...4,4) \cdot 10^{-3}$ отн. ед., поглощенная доза – 6,4–6,8 кГр;

– для шейки свиной, содержащей костную ткань: амплитуда $(1,2...1,4) \cdot 10^1$ отн. ед., ширина – 8,9–9,1 Гс, площадь – $(12,4...13,3) \cdot 10^1$ отн. ед., поглощенная доза – 7,0–7,6 кГр; полученные результаты с точки зрения прослеживаемости определенных закономерностей (увеличение амплитуды пика, сужение ширины сигнала и, соответственно, увеличение площади пика) сопоставимы с исследованиями ОКТ свинины;

– для карпа охлажденного, содержащего костную ткань: амплитуда пика $(3,4...3,6) \cdot 10^{-5}$ отн. ед., ширина – 14,7–14,8 Гс, площадь – $(3,0...3,1) \cdot 10^{-3}$ отн. ед.,

поглощенная доза – 4,8–5,2 кГр; содержащего кожу с чешуей: амплитуда $(1,2\dots1,3) \cdot 10^{-4}$ отн. ед., ширина – 9,0–9,1 Гс, площадь – $(4,2\dots4,3) \cdot 10^{-4}$ отн. ед., поглощенная доза – 4,7–5,1 кГр; содержащего мышечную ткань: амплитуда $(7,8\dots9,4) \cdot 10^{-5}$ отн. ед., ширина – 10,1–10,5 Гс, площадь – $(2,9\dots3,2) \cdot 10^{-4}$ отн. ед., поглощенная доза – 3,2–3,7 кГр;

– для перца черного молотого: амплитуда – $(2,69 \pm 0,02) \cdot 10^{-4}$ отн. ед., ширина – $(16,00 \pm 0,04)$ Гс, площадь – $(4,30 \pm 0,04) \cdot 10^{-3}$ отн. ед., поглощенная доза – 9,3–9,9 кГр; в образцах куркумы молотой: амплитуда – $(5,31 \pm 0,05) \cdot 10^{-4}$ отн. ед., ширина – $(12,00 \pm 0,02)$ Гс, площадь – $(6,37 \pm 0,09) \cdot 10^{-3}$ отн. ед., поглощенная доза – 9,1–9,5 кГр; для перца белого молотого: амплитуда $(1,0\dots1,1) \cdot 10^{-4}$ отн. ед., ширина – 11,9–12,0 Гс, площадь – $(1,2\dots1,3) \cdot 10^{-3}$ отн. ед., поглощенная доза – 8,2–8,8 кГр; для чили жгучего молотого: амплитуда – $(5,86 \pm 0,07) \cdot 10^{-5}$ отн. ед., ширина – $(16,00 \pm 0,04)$ Гс, площадь – $(4,36 \pm 0,13) \cdot 10^{-4}$ отн. ед., поглощенная доза – 4,2–4,4 кГр; для чили острого молотого: амплитуда – $(4,72 \pm 0,03) \cdot 10^{-5}$ отн. ед., ширина – $(10,00 \pm 0,02)$ Гс, площадь – $(4,80 \pm 0,05) \cdot 10^{-4}$ отн. ед., поглощенная доза – 4,0–4,2 кГр;

– для яблок свежих (кожица): амплитуда – $(4,0\dots4,2) \cdot 10^{-5}$ отн. ед., ширина – от 8,2 до 8,5 Гс, площадь – $(1,2\dots1,4) \cdot 10^{-4}$ отн. ед., поглощенная доза – 6,2–7,0 кГр.

Следует отметить, что интенсивность ЭПР-сигналов в подготовленных для исследований образцах сохраняется через 12 мес. после обработки ионизирующим излучением мясного сырья, рыбы охлажденной, яблок свежих и через 18 мес. для пряностей молотых, что позволяет осуществлять идентификацию на протяжении длительного временного промежутка после обработки ионизирующим излучением.

Результаты исследований имеют важное научно-практическое значение для формирования отечественной нормативной базы и апробации существующих методик качественной идентификации обработанных ионизирующим излучением пищевых продуктов и количественной идентификации для определения поглощенных доз ионизирующего излучения в соответствии с требованиями международных стандартов по безопасности и обеспечению качества пищевой продукции.

ГЛАВА 4. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА СОХРАНЯЕМОСТЬ ПИЩЕВОЙ ПРОДУКЦИИ ЖИВОТНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

Исследование пищевой продукции осуществлялось в следующей последовательности:

– по наименованию: при сравнении наименования пищевой продукции согласно требованиям технических регламентов Таможенного союза на отдельные виды пищевой продукции с данными маркировки на потребительской упаковке для упакованной продукции (рыба охлажденная импортного производства, мясные полуфабрикаты) или на товаросопроводительной документации для неупакованной пищевой продукции (мясное и рыбное сырье);

– при визуальном сравнении внешнего вида пищевых продуктов и сырья с признаками, изложенными в соответствующих технических регламентах Таможенного союза на отдельные виды пищевой продукции;

– проведение органолептической оценки исследуемых объектов на соответствие признакам, изложенным в соответствующей нормативно-технической документации для разных видов пищевой продукции, – как дополнительный метод к исследованию по наименованию и визуальному методу;

– исследование физико-химических и микробиологических показателей для проверки соответствия признакам, изложенным в соответствующих технических регламентах Таможенного союза на отдельные виды пищевой продукции, – как дополнительный метод для идентификации по наименованию, визуальному и органолептическому методам.

Применяемые технологии хранения оказывают влияние на сохраняемость продовольственного сырья и пищевых продуктов в зависимости от вида сырья, прогнозируемых сроков годности, факторов внешней среды (температура, относительная влажность, освещенность, состав воздуха и скорость воздухообмена), а также способов размещения и обработки. Согласно нормативной документации

срок годности пищевых продуктов обусловлен рядом показателей, которые должны оставаться неизменными в течение всего срока годности: органолептические показатели (внешний вид, цвет, консистенция продукта), физико-химические показатели (показатели химического состава, рН, амино-аммиачный азот, кислотное число, перекисное число и др.), показатели безопасности (микробиологическая обсемененность, содержание тяжелых металлов и т. д.). В пищевом сырье как биологическом объекте животного и растительного происхождения основной структурной единицей является клетка, где и протекают неравнозначные биохимические процессы под воздействием ферментативных систем, микробиологических процессов и условий внешней среды.

В соответствии с требованиями ТР ТС 021/2011 и МУК 4.2.1847-04 сроки годности и условия хранения пищевой продукции устанавливаются изготовителем пищевых продуктов или разработчиком нормативной и технической документации в соответствии с гигиеническими требованиями безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов.

Пролонгация сроков годности скоропортящихся пищевых продуктов допускается при применении новых технологий производства, упаковки и хранения согласно требованиям СанПиН 2.3.2.1324-03.

Мясное, рыбное сырье и продукты их переработки относятся к скоропортящимся товарам. Так, говядина охлажденная в тушах и полутушах хранится до 16 сут, свинина – до 12 сут при температуре минус 1 °С; охлажденное мясо птицы хранят при температуре от 0 до 2 °С и относительной влажности воздуха 80–85 % не более 5 сут со дня выработки; рыба охлажденная и рыбные полуфабрикаты хранятся при температуре от 0 до минус 2 °С.

Изменение предпочтений участников потребительского рынка и возросший спрос на свежую (непереработанную) и охлажденную пищевую продукцию требует усовершенствования используемых и внедрения более совершенных способов сохранения, а также определенных условий хранения для повышения хранимостности и снижения потерь продовольственных ресурсов.

Продление сроков годности скоропортящихся пищевых продуктов при сохранении качества – одно из приоритетных направлений развития пищевой и перерабатывающей промышленности. Для сохранения продуктов в непереработанном виде без использования термической обработки большинство распространенных технологий хранения не применимы. Радиационные технологии можно отнести к перспективным. При этом необходим выбор оптимальных доз облучения и соблюдение технологии обработки ионизирующим излучением. В то же время в процессе обработки возможно ускорение процесса окисления липидов в пищевых продуктах с повышенным содержанием жира.

Ни один другой метод обработки продовольственного сырья и пищевых продуктов не изучается так тщательно, как обработка ионизирующим излучением: на протяжении десятилетий, с проведением клинических исследований на животных, получающих в рационе обработанные продукты. В области обработки ионизирующим излучением продовольственного сырья и пищевых продуктов начинается переход от изотопных источников, испускающих гамма-лучи (радионуклиды ^{60}Co и ^{137}Cs), по которым в основном проводились ранее исследования, и менее распространенных рентгеновских установок к ускорителям электронов.

Несмотря на высокий интерес к теме обработки ионизирующим излучением, в настоящее время нормативно не закреплены дозы облучения для продукции животного происхождения. Определенную трудность вызывает отсутствие понятий «радиационная обработка», «обработанная продукция» в технических регламентах, в методологических принципах санитарно-эпидемиологических исследований для обоснования сроков годности пищевых продуктов согласно МУК 4.2.1847-04 и в гигиенических требованиях к срокам годности и условиям хранения пищевых продуктов согласно СанПиН 2.3.2.1324-03, в связи с чем отсутствует нормативно-регулирующая информация по срокам годности с учетом дозовой нагрузки. В соответствии с требованиями нормативно-технической документации ответственность за выбор доз облучения лежит на владельцах пищевых продуктов [45; 46; 49; 50], что обуславливает необходимость обеспечения объективного контроля качества и безопасности пищевых продуктов, обработанных ионизирующим излучением.

4.1 Влияние ионизирующего излучения на сохраняемость охлажденного мяса и мясных полуфабрикатов в процессе хранения

Идентификация мясного сырья и продуктов его переработки осуществлялась в соответствии с требованиями ТР ТС 034/2013 путем сравнения наименования пищевого продукта или сырья с данными, указанными в товаросопроводительной документации и на маркировке упаковки для мясных полуфабрикатов. Изучение маркировки проводили в соответствии с требованиями ТР ТС 022/2011 «Пищевая продукция в части ее маркировки», ГОСТ 33800-2016 «Продукция пищевая обработанная. Общие требования к маркировке».

На следующих этапах осуществлялась органолептическая оценка, проводилось исследование физико-химических, микробиологических и теплофизических показателей.

4.1.1 Органолептическая оценка мясного сырья и мясных полуфабрикатов

Исследование органолептических показателей осуществлялось по каждому виду сырья: говядина, свинина, мясо птицы, мясо косули, а также мясные полуфабрикаты (шейка свиная на кости).

На первом этапе исследований проводилась товароведная оценка разных видов мясного сырья, обработанного разными дозами ионизирующего излучения, на соответствие характерным показателям свежести по пятибалльной системе согласно шкале, приведенной в таблице 1 (п. 2.3 диссертации).

Описательная органолептическая характеристика и результаты балльной оценки контрольных (не подвергавшихся воздействию ионизирующего излучения) и опытных (обработанных ионизирующим излучением) образцов охлажденной говядины представлены в таблице 11 и на рисунке 43.

Таблица 11 – Органолептическая характеристика необработанных и обработанных разными дозами ионизирующего излучения образцов охлажденной говядины

Наименование показателя по ГОСТ 7269-2015, ГОСТ 33818-2016	Доза облучения, кГр				
	0	3	9	10	12
Внешний вид и цвет поверхности	Светло-красный	Красный	Красный	Темно-красный	Темно-красный
Мышцы на разрезе	Слегка влажные, не оставляют влажного пятна на фильтровальной бумаге	Влажноватые, не оставляют влажного пятна на фильтровальной бумаге	Чуть влажноватые, не оставляют влажного пятна на фильтровальной бумаге	Чуть влажноватые, не оставляют влажного пятна на фильтровальной бумаге	Чуть влажноватые, не оставляют влажного пятна на фильтровальной бумаге
Консистенция	На разрезе мясо плотное, упругое. Образующаяся при надавливании пальцем ямка быстро выравнивается	На разрезе мясо упругое. Образующаяся при надавливании пальцем ямка выравнивается менее чем за 10 с	На разрезе мясо чуть менее плотное, менее упругое. Образующаяся при надавливании пальцем ямка выравнивается более медленно (до 30 с)	На разрезе мясо чуть рыхловатое, менее упругое. Образующаяся при надавливании пальцем ямка выравнивается более медленно (до 40 с)	На разрезе мясо немного рыхловатое, менее упругое. Образующаяся при надавливании пальцем ямка выравнивается более медленно (до 50 с)
Запах	Специфический, свойственный свежему доброкачественному мясу	Специфический, свойственный свежему доброкачественному мясу	Специфический, свойственный свежему доброкачественному мясу	Специфический, свойственный свежему доброкачественному мясу	Специфический, свойственный свежему доброкачественному мясу
Состояние жира (цвет, запах, консистенция)	Белого цвета, не имеет запаха осаливания, консистенция плотная, твердая, при раздавливании крошится	Белого цвета, не имеет запаха осаливания, консистенция плотная, твердая, при раздавливании крошится	Белый цвет с желтоватым оттенком; консистенция твердая, при раздавливании образуются мягковатые крошки	Желтоватый цвет; консистенция твердая, при раздавливании образуются мягковатые крошки	Светло-желтый цвет; консистенция менее твердая, при раздавливании образуются мягковатые крошки
Состояние сухожилий	Сухожилия упругие, плотные, поверхность суставов гладкая, блестящая, светло-розового цвета	Сухожилия упругие, плотные, поверхность суставов гладкая, блестящая, светло-розового цвета	Сухожилия упругие, плотные, поверхность суставов гладкая, блестящая, светло-розового цвета	Сухожилия упругие, менее плотные, поверхность суставов гладкая, блестящая, розового цвета	Сухожилия менее упругие, менее плотные, поверхность суставов гладкая, темно-розового цвета
Прозрачность и запах бульона	Прозрачный, с выраженным запахом свежего доброкачественного мяса	Прозрачный, с выраженным запахом свежего доброкачественного мяса	Прозрачный, с выраженным запахом свежего доброкачественного мяса	Прозрачный, с выраженным запахом свежего доброкачественного мяса	Прозрачный, с выраженным запахом свежего доброкачественного мяса

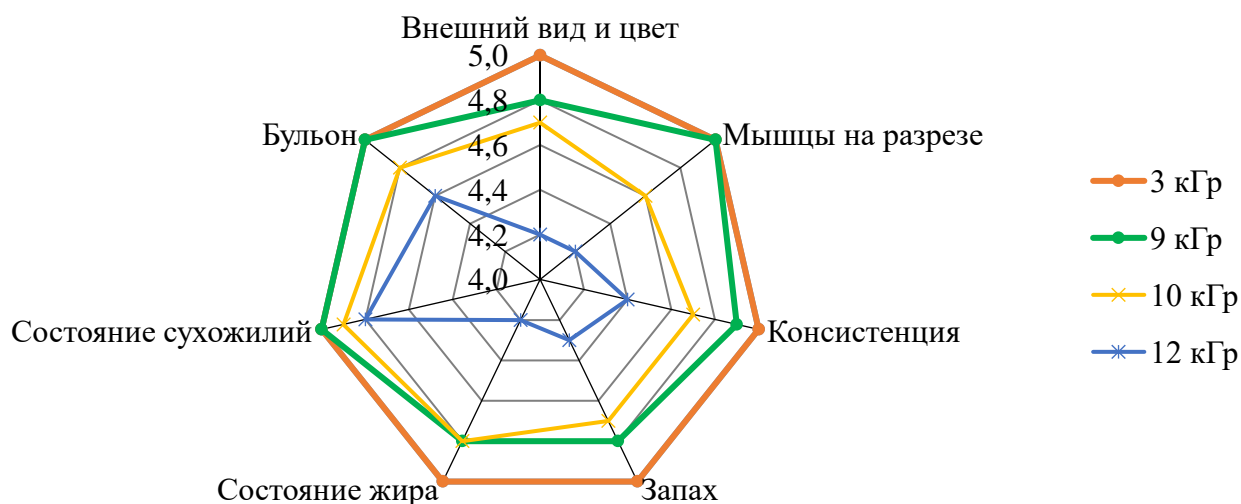


Рисунок 43 – Органолептические профили образцов охлажденной говядины, обработанных разными дозами ионизирующего излучения, балл

Необработанные и обработанные дозой ионизирующего излучения 3 кГр образцы говядины охлажденной полностью соответствуют характерным признакам свежести мяса (5 баллов), соответственно, их органолептические профили совпадают. Опытные образцы говядины, обработанные дозой 9 кГр, оценены в 4,9 балла и также получили высокую оценку по таким показателям, как мышцы на разрезе, состояние сухожилий, прозрачность и запах бульона. Образцы, обработанные дозами 10 и 12 кГр, оценены в 4,7 и 4,4 балла соответственно. Самые низкие оценки (на уровне или ниже среднего балла) получены при дозе облучения 10 кГр по мышцам на разрезе – 4,6 балла. Образцы после обработки дозой 12 кГр получили низкую оценку 4,2 балла за внешний вид и цвет поверхности, мышцы на разрезе и состояние жира.

Описательная органолептическая характеристика и результаты балльной оценки контрольных (не подвергавшихся воздействию ионизирующего излучения) и опытных (обработанных ионизирующим излучением) образцов охлажденной свинины представлены в таблице И.1 (приложение И) и на рисунке 44.

Необработанные и обработанные дозой 3 кГр образцы свинины охлажденной полностью соответствуют характерным признакам свежести мяса (5 баллов), соответственно, их органолептические профили совпадают.

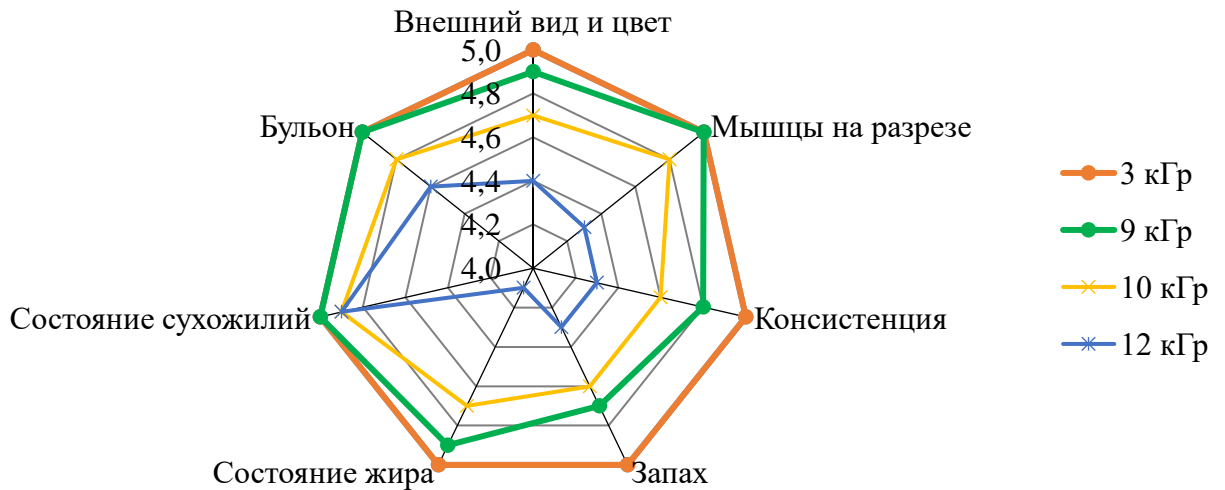


Рисунок 44 – Органолептические профили образцов охлажденной свинины, обработанных разными дозами ионизирующего излучения, балл

Опытные образцы свинины, обработанные дозой 9 кГр, оценены в 4,9 балла и также получили высокую оценку по показателям: мышцы на разрезе, состояние сухожилий, прозрачность и запах бульона. Образцы после обработки дозами 10 и 12 кГр оценены в 4,7 и 4,4 балла соответственно. Наиболее низкие оценки (на уровне или ниже среднего балла) получены при обработке дозой 10 кГр по показателям консистенции и запаха – по 4,6 балла. Образцы, обработанные дозой 12 кГр, получили низкую оценку 4,1 балла за состояние жира и 4,3 балла за мышцы на разрезе, консистенцию и запах.

Описательная органолептическая характеристика и результаты органолептической оценки контрольных (не подвергавшихся воздействию ионизирующего излучения) и опытных (обработанных ионизирующим излучением) образцов охлажденного мяса косули промышленного забоя представлены в таблице И.2 (приложение И) и на рисунке 45.

Необработанные и обработанные дозой 3 кГр образцы мяса косули охлажденной полностью соответствуют характерным признакам свежести мяса (5 баллов), соответственно, их органолептические профили идентичны. Опытные образцы мяса косули, обработанные дозой 9 кГр, оценены в 4,9 балла и получили высокую оценку по таким показателям, как состояние сухожилий, прозрачность и запах бульона.

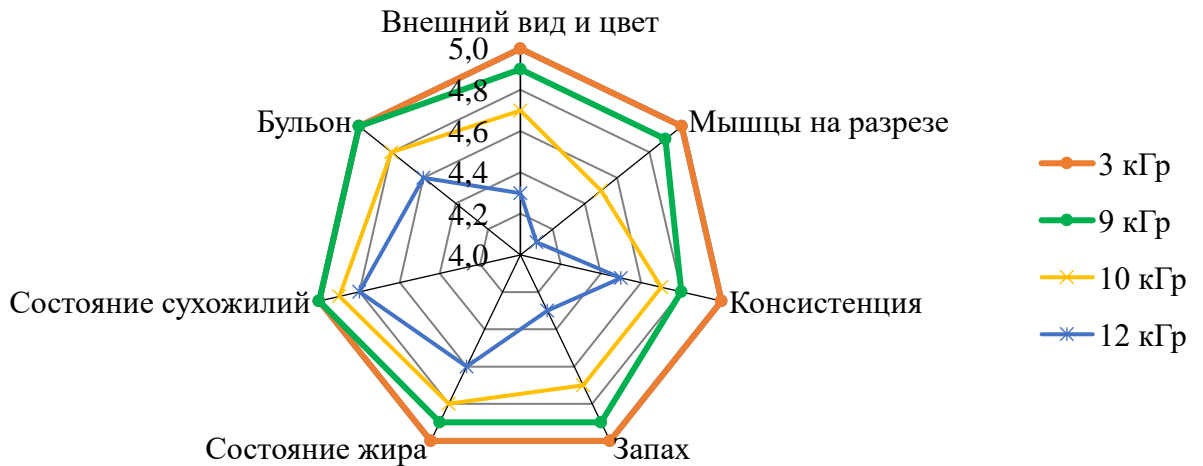


Рисунок 45 – Органолептические профили образцов охлажденного мяса косули, обработанных разными дозами ионизирующего излучения, балл

Образцы, обработанные дозами 10 и 12 кГр, оценены в 4,7 и 4,5 балла соответственно; самые низкие оценки (на уровне или ниже среднего балла) получили внешний вид и цвет поверхности – 4,7 и 4,3 балла соответственно; мышцы на разрезе – 4,5 и 4,1 балла; консистенция – 4,7 и 4,5 балла; запах – 4,7 и 4,3 балла.

Товароведная оценка необработанных и обработанных разными дозами образцов охлажденной говядины, охлажденной свинины и охлажденного мяса косули проводилась на протяжении всего периода хранения с учетом коэффициента резерва: через 10; 20; 30 и 39 сут.

При оценке необработанного мяса говядины установлено, что через 10 сут хранения его можно отнести к свежему мясу (соответствует показателям на первом этапе эксперимента – 0 сут), через 20 сут – к мясу сомнительной свежести (мясо темно-красного цвета; мышцы на разрезе влажные, оставляют пятно на фильтровальной бумаге, слегка липкие; ямка при надавливании пальцем выравнивается медленно). Через 30 и 39 сут хранения мясо отнесено к категории несвежего: покрыто слизью, цвет несвойственный свежему мясу, более темный, красно-коричневый с наличием зеленых участков; имеются признаки присутствия бактериальной порчи; мышцы на разрезе рыхлые, неплотно прилегают друг к другу, липкие; консистенция дряблая; жир серовато-матового оттенка, склизкой консистенции;

соединительная ткань рыхлая с признаками деструкции; аромат бульона неприятный, резкий; бульон мутный, с большим количеством хлопьев в результате агрегирования белков. Аналогичные результаты получены при исследовании свинины и мяса косули.

Образцы говядины, свинины и мяса косули, обработанные дозами ионизирующего излучения 3; 9; 10 и 12 кГр, в течение всего периода хранения (кроме образцов, обработанных дозой 12 кГр, через 39 сут) по органолептическим показателям относятся к свежему мясу. Через 39 сут отмечается потемнение цвета, консистенция становится менее упругой, ямка выравнивается медленнее, консистенция жира размягчается, появляется легкий запах окисленности.

Результаты органолептической оценки охлажденного мяса говядины приведены в таблице 12. Образцы говядины, обработанные дозой ионизирующего излучения 3 кГр, через 20 сут хранения относятся к мясу отличного качества, через 39 сут – к мясу хорошего качества; образцы после обработки дозами 9 и 10 кГр относятся 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 – соответственно 4,3 и 3,8 балла; через 39 сут образцы относятся к мясу удовлетворительного качества.

Таблица 12 – Результаты органолептической оценки образцов охлажденной говядины, обработанных разными дозами ионизирующего излучения, в процессе хранения, балл ($p \leq 0,05$)

Показатель	10 сут				20 сут				30 сут				39 сут			
	Доза облучения, кГр															
	3	9	10	12	3	9	10	12	3	9	10	12	3	9	10	12
Внешний вид	5,0	4,8	4,7	4,2	4,8	4,7	4,7	4,2	4,7	4,7	4,6	4,1	4,0	4,1	4,1	3,6
Мышцы на разрезе	5,0	5,0	4,6	4,2	4,8	4,6	4,6	4,2	4,5	4,6	4,6	4,2	3,9	4,1	4,2	3,8
Консистенция	5,0	4,9	4,7	4,4	4,8	4,7	4,7	4,4	4,6	4,5	4,7	4,3	3,9	4,0	4,2	3,8
Запах	5,0	4,8	4,7	4,3	4,8	4,7	4,7	4,3	4,5	4,6	4,7	4,3	4,1	4,2	4,3	3,8
Состояние жира	5,0	4,8	4,8	4,2	4,8	4,8	4,8	4,2	4,4	4,5	4,5	4,2	3,8	3,9	4,1	3,6
Состояние сухожилий	5,0	5,0	4,9	4,8	4,9	4,9	4,9	4,8	4,8	4,9	4,9	4,8	4,4	4,5	4,5	4,4
Бульон	5,0	5,0	4,8	4,6	4,9	4,8	4,8	4,6	4,6	4,6	4,7	4,5	3,9	4,0	4,2	3,9
<i>Средний балл</i>	5,0	4,9	4,7	4,4	4,8	4,7	4,7	4,4	4,6	4,6	4,7	4,3	4,0	4,1	4,2	3,8

Аналогичные результаты получены по итогам органолептической оценки свежести охлажденной свинины (таблица 13). Самую низкую балльную оценку получили образцы, обработанные дозой 12 кГр, – 4,4 и 4,37 балла через 10 и 20 сут хранения соответственно; 4,3 и 3,8 балла – через 30 и 39 сут соответственно, после 39 сут хранения свинина относится к мясу удовлетворительного качества.

Таблица 13 – Результаты органолептической оценки образцов охлажденной свинины, обработанных ионизирующим излучением, при хранении, балл ($p \leq 0,05$)

Показатель	10 сут				20 сут				30 сут				39 сут			
	Доза облучения, кГр															
	3	9	10	12	3	9	10	12	3	9	10	12	3	9	10	12
Внешний вид	5,0	4,9	4,7	4,4	4,8	4,9	4,6	4,2	4,6	4,8	4,4	4,1	4,0	4,2	4,0	3,7
Мышцы на разрезе	5,0	5,0	4,8	4,3	4,8	5,0	4,7	4,3	4,4	4,8	4,7	4,3	4,0	4,3	4,1	3,6
Консистенция	5,0	4,8	4,6	4,3	4,8	4,8	4,5	4,3	4,5	4,8	4,5	4,0	3,9	4,3	4,0	3,6
Запах	5,0	4,7	4,6	4,3	4,7	4,7	4,6	4,2	4,4	4,7	4,5	4,1	3,9	4,3	4,0	3,6
Состояние жира	5,0	4,9	4,7	4,1	4,9	4,9	4,6	4,1	4,6	4,8	4,4	4,1	3,9	4,2	3,8	3,6
Состояние сухожилий	5,0	5,0	4,9	4,9	4,9	5,0	4,9	4,9	4,8	4,9	4,9	4,9	4,2	4,4	4,3	4,2
Бульон	5,0	5,0	4,8	4,6	4,7	5,0	4,8	4,6	4,7	4,9	4,7	4,4	4,1	4,4	4,1	4,0
<i>Средний балл</i>	5,0	4,9	4,7	4,4	4,8	4,9	4,6	4,4	4,6	4,8	4,6	4,3	4,0	4,3	4,0	3,8

В таблице 14 по итогам органолептической оценки охлажденного мяса косули показано, что образцы, облученные дозами 3; 9 и 10 кГр, через 30 сут хранения относятся к мясу отличного качества, через 39 сут – к мясу хорошего качества. Самую низкую оценку получили образцы, обработанные дозой 12 кГр, – 4,5 балла через 10 сут хранения; 4,4 и 4,3 балла – через 20 и 30 сут соответственно; 3,9 балла (мясо удовлетворительного качества) – через 39 сут.

По мясу птицы отбор проб к исследованию проводили согласно ГОСТ Р 51944-2002 «Мясо птицы. Методы определения органолептических показателей, температуры и массы». Внешний вид, цвет и состояние жира определяли путем визуального осмотра; консистенцию – на разрезе легким надавливанием пальца путем наблюдения за выравниваем ямки; липкость – путем прикасания пальцами к срезу; увлажненность поверхности мяса – путем приложения к разрезу фильтровальной бумаги; для определения запаха глубинных слоев мышечной ткани делали разрез мышц. Особое внимание обращали на наличие запаха слоев мышечной ткани, прилегающих к костям. Также исследовали прозрачность и запах бульона.

Таблица 14 – Результаты органолептической оценки образцов охлажденного мяса козули, обработанных разными дозами ионизирующего излучения, в процессе хранения, балл ($p \leq 0,05$)

Показатель	10 сут				20 сут				30 сут				39 сут			
	Доза облучения, кГр															
	3	9	10	12	3	9	10	12	3	9	10	12	3	9	10	12
Внешний вид	5,0	4,9	4,7	4,3	4,8	4,8	4,7	4,2	4,6	4,6	4,6	4,0	3,8	4,1	4,1	3,7
Мышцы на разрезе	5,0	4,9	4,5	4,1	4,8	4,6	4,5	4,1	4,5	4,5	4,5	4,1	3,9	4,1	4,1	3,7
Консистенция	5,0	4,8	4,7	4,5	4,8	4,7	4,7	4,5	4,5	4,5	4,7	4,4	4,0	4,0	4,3	4,0
Запах	5,0	4,9	4,7	4,3	4,7	4,6	4,5	4,3	4,3	4,5	4,5	4,2	3,9	4,1	4,1	3,9
Состояние жира	5,0	4,9	4,8	4,6	4,9	4,8	4,8	4,6	4,5	4,7	4,8	4,5	4,0	3,9	4,4	4,0
Состояние сухожилий	5,0	5,0	4,9	4,8	5,0	4,9	4,9	4,8	4,7	4,9	4,9	4,7	4,2	4,4	4,5	4,2
Бульон	5,0	5,0	4,8	4,6	4,9	4,9	4,7	4,6	4,5	4,6	4,7	4,4	3,8	4,0	4,2	3,9
<i>Средний балл</i>	<i>5,0</i>	<i>4,9</i>	<i>4,7</i>	<i>4,5</i>	<i>4,8</i>	<i>4,8</i>	<i>4,7</i>	<i>4,4</i>	<i>4,5</i>	<i>4,6</i>	<i>4,7</i>	<i>4,3</i>	<i>4,0</i>	<i>4,1</i>	<i>4,2</i>	<i>3,9</i>

Описательная органолептическая характеристика и результаты балльной оценки контрольных (не подвергавшихся воздействию ионизирующего излучения) и опытных (облученных) образцов охлажденного мяса птицы (цыплят-бройлеров) представлены в таблице И.3 (приложение И) и на рисунке 46.

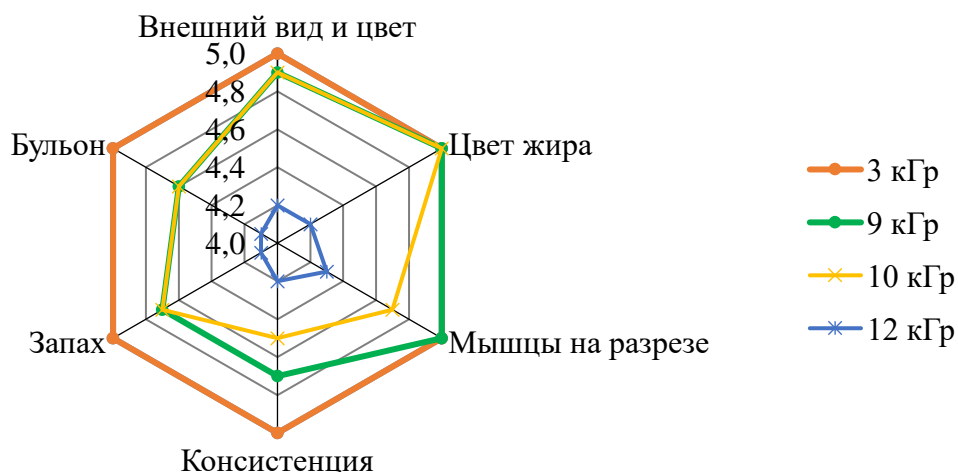


Рисунок 46 – Органолептические профили образцов охлажденного мяса птицы, обработанных разными дозами ионизирующего излучения, балл

Необработанные и обработанные дозой 3 кГр образцы охлажденной птицы полностью соответствуют характерным признакам свежести мяса (5 баллов), соответственно, их органолептические профили совпадают. Опытные образцы, обра-

ботанные дозой 9 кГр, оценены в 4,8 балла и получили высокую оценку по таким показателям, как внешний вид и цвет подкожной и внутренней жировой ткани, мышцы на разрезе. Образцы, обработанные дозой 10 кГр, оценены в 4,7 балла и получили высокую оценку за внешний вид, цвет подкожной и внутренней жировой ткани. Образцы после обработки дозой 12 кГр оценены в 3,8 балла. Самые низкие оценки (на уровне или ниже среднего балла) получили внешний вид и цвет поверхности, консистенция, запах, прозрачность и аромат бульона.

Товароведная оценка свежести необработанных и обработанных разными дозами ионизирующего излучения образцов охлажденного мяса птицы проводилась на протяжении всего периода хранения с учетом коэффициента резерва: через 10; 20; 30 и 39 сут.

Образцы мяса птицы, обработанные дозами ионизирующего излучения 3 и 9 кГр, через 10; 20 и 30 сут хранения, а также обработанные дозами 10 и 12 кГр, через 10 и 20 сут хранения по органолептическим показателям относятся к свежему мясу. Через 30 сут хранения образцы, обработанные дозами 10 и 12 кГр, относятся к мясу удовлетворительного качества и отличаются светло-коричневым цветом, появлением липкости мышц, незначительным запахом окисленности, консистенция жира размягчается, бульон непрозрачный. Через 39 сут хранения обработанные образцы относятся к мясу сомнительной свежести: отмечается появление светло-коричневого оттенка, консистенция становится рыхлой, ямка выравнивается медленно, мышцы слегка липкие и на разрезе влажные, оставляют пятно на фильтровальной бумаге.

В таблице 15 по результатам органолептической оценки охлажденного мяса птицы установлено, что образцы, обработанные дозой 3 кГр, через 20 сут хранения относятся к мясу отличного качества, через 30 сут – к мясу хорошего качества; образцы, обработанные дозой 9 кГр, через 20 и 30 сут относятся к мясу хорошего качества. Образцы мяса птицы, обработанные дозами 10 и 12 кГр, через 20 сут хранения можно оценить как мясо хорошего качества, через 30 сут – мясо удовлетворительного качества. Через 39 сут хранения все образцы мяса птицы относятся к мясу неудовлетворительного качества.

Таблица 15 – Результаты органолептической оценки образцов охлажденного мяса птицы, обработанных разными дозами ионизирующего излучения, в процессе хранения, балл ($p \leq 0,05$)

Показатель	10 сут				20 сут				30 сут				39 сут			
	Доза облучения, кГр															
	3	9	10	12	3	9	10	12	3	9	10	12	3	9	10	12
Внешний вид и цвет поверхности	5,0	4,9	4,5	4,0	4,8	4,7	4,2	4,0	4,1	4,5	3,5	3,0	2,4	2,5	2,5	1,9
Внешний вид и цвет жировой ткани	5,0	5,0	4,6	4,0	4,9	4,8	4,3	4,0	4,1	4,6	3,7	3,1	2,4	2,5	2,4	2,2
Мышцы на разрезе	5,0	4,7	4,2	4,2	4,8	4,7	4,1	4,1	4,0	4,5	3,3	2,9	2,3	2,4	2,4	2,2
Консистенция	5,0	4,5	4,1	4,1	4,7	4,5	4,0	4,0	4,0	4,4	3,2	3,0	2,4	2,4	2,4	2,3
Запах	5,0	4,7	4,4	4,1	4,8	4,6	4,2	4,1	4,1	4,5	3,2	2,9	2,5	2,6	2,6	2,6
Бульон	5,0	4,6	4,4	4,1	4,8	4,6	4,2	4,0	4,1	4,5	3,2	2,9	2,2	2,2	2,2	2,1
<i>Средний балл</i>	5,0	4,7	4,4	4,1	4,8	4,7	4,2	4,0	4,1	4,5	3,4	3,0	2,4	2,4	2,3	2,2

Таким образом, органолептическая оценка охлажденного мясного сырья животного происхождения по пятибалльной шкале показала, что образцы, обработанные дозой 3 кГр, относятся к категории свежего мяса и полностью соответствуют требованиям (оценены на 5 баллов), характеристика качества – отлично.

После обработки дозами 9; 10 и 12 кГр мясное сырье (за исключением мяса птицы, обработанного дозой 12 кГр) относится к категории свежего мяса с незначительными изменениями по запаху, консистенции, состоянию жира и соответствует требованиям нормативной документации, характеристика качества – выше «хорошего» и приближено к «отлично» с соответствующими оценками: говядина охлажденная – 4,9; 4,7 и 4,4 балла; свинина охлажденная – 4,9; 4,7 и 4,4 балла; мясо косули – 4,9; 4,7 и 4,5 балла. Мясо птицы (цыплят-бройлеров) оценено на 4,8 балла при обработке дозой 9 кГр (оценка «хорошо»); 4,7 балла при дозе 10 кГр (оценка «хорошо») и 3,8 балла при дозе 12 кГр (оценка «удовлетворительно»).

Обработанные дозами 3; 9 и 10 кГр образцы говядины, свинины и мяса косули через 10; 20; 30 и 39 сут хранения по органолептическим показателям относятся к свежему мясу. Обработанные дозой 12 кГр образцы через 10; 20 и 30 сут хранения по органолептическим показателям относятся к свежему мясу, через 39 сут хранения – к мясу удовлетворительного качества.

Образцы мяса птицы, обработанные дозами 3 и 9 кГр, по органолептическим показателям относятся к свежему мясу до 30 сут хранения; при обработке дозами 10 и 12 кГр – до 20 сут.

На втором этапе эксперимента были исследованы органолептические показатели шейки свиной на кости, упакованной в МГС, на разных сроках хранения по пятибалльной шкале согласно показателям, представленным в таблице 1 (п. 2.3).

Для органолептической оценки полуфабрикатов в сыром виде использованы предложенные автором диссертационной работы коэффициенты весомости, представленные в таблице 2.

Были сформированы следующие группы образцов: контрольная группа (первая), которая не подвергалась воздействию ионизирующего излучения, и опытные группы (вторая, третья и четвертая), которые обрабатывались дозами 8; 9 и 12 кГр соответственно. Образцы всех групп по органолептической оценке относятся к мясу отличного качества.

Описательная органолептическая характеристика необработанных и обработанных разными дозами образцов охлажденных мясокостных полуфабрикатов отечественного производства – шейки свиной на кости, упакованной в МГС, через 10 сут хранения представлена в таблице К.1 (приложение К). Все группы образцов через 10 сут хранения при температуре от 0 до 4,0 °С полностью соответствуют характерным признакам свежести мяса с оценкой 5 баллов (отличное качество).

Органолептический профиль образцов контрольной (первой) и опытных групп (второй, третьей и четвертой) полностью совпадает через 10 сут хранения.

Описательная органолептическая характеристика обработанных разными дозами образцов охлажденной шейки свиной через 20 сут хранения представлена в таблице К.2 (приложение К). Образцы, не подвергавшиеся воздействию ионизирующим излучением, относятся к мясу сомнительной свежести с оценкой 2,19 балла (неудовлетворительное качество). Образцы, обработанные дозами 8; 9 и 12 кГр, через 20 сут хранения при температуре от 0 до 4 °С полностью соответствуют характерным признакам свежести мяса с оценками 4,97; 4,84 (отличное качество) и 4,67 балла (промежуточное положение между отличным и очень хорошим

качеством). Незначительное снижение оценки на 0,03 балла для образцов, обработанных дозой 8 кГр, произошло за счет такого показателя, как консистенция мяса; оценки образцов, обработанных дозами 9 и 12 кГр, снижены на 0,16 и 0,33 балла соответственно за счет таких показателей, как внешний вид, консистенция, запах, состояние жира, по сравнению с аналогичными образцами после 10 сут хранения.

Органолептические профили опытных образцов второй, третьей и четвертой групп через 20 сут хранения представлены на рисунке 47. В образцах, обработанных дозами 9 и 12 кГр, наблюдается незначительное размягчение жира.

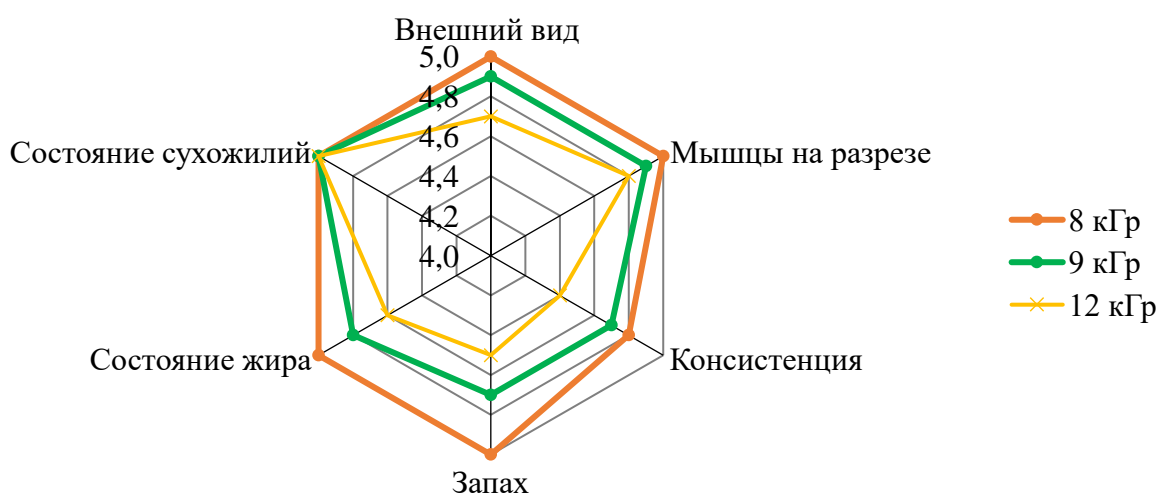


Рисунок 47 – Органолептические профили образцов шейки свиной, обработанных разными дозами ионизирующего излучения, через 20 сут хранения, балл

Описательная органолептическая характеристика необработанных и обработанных разными дозами образцов охлажденной шейки свиной через 30 сут хранения представлена в таблице К.3 (приложение К). Образцы шейки свиной, не подвергавшиеся воздействию ионизирующим излучением, оценены в 0,93 балла (качество ниже плохого, неприемлемое) и относятся к несвежему мясу. Образцы шейки свиной, обработанные дозами 8; 9 и 12 кГр, через 30 сут хранения при температуре от 0 до 4 °С по органолептическим показателям относятся к свежему мясу и получили соответствующие оценки: 4,96 (отличное качество); 4,49 (очень хорошее качество) и 4,23 балла (хорошее качество).

Для образцов, обработанных дозой 8 кГр, произошло незначительное (на 0,01 балла) снижение оценки за счет такого показателя, как консистенция мяса, по сравнению с аналогичными образцами через 20 сут хранения. Оценка образцов, обработанных дозами 9 и 12 кГр, ниже на 0,35 и 0,44 балла соответственно за счет снижения оценки по всем показателям, кроме мышц на разрезе.

Органолептические профили опытных образцов второй, третьей и четвертой групп через 30 сут хранения представлен на рисунке 48.

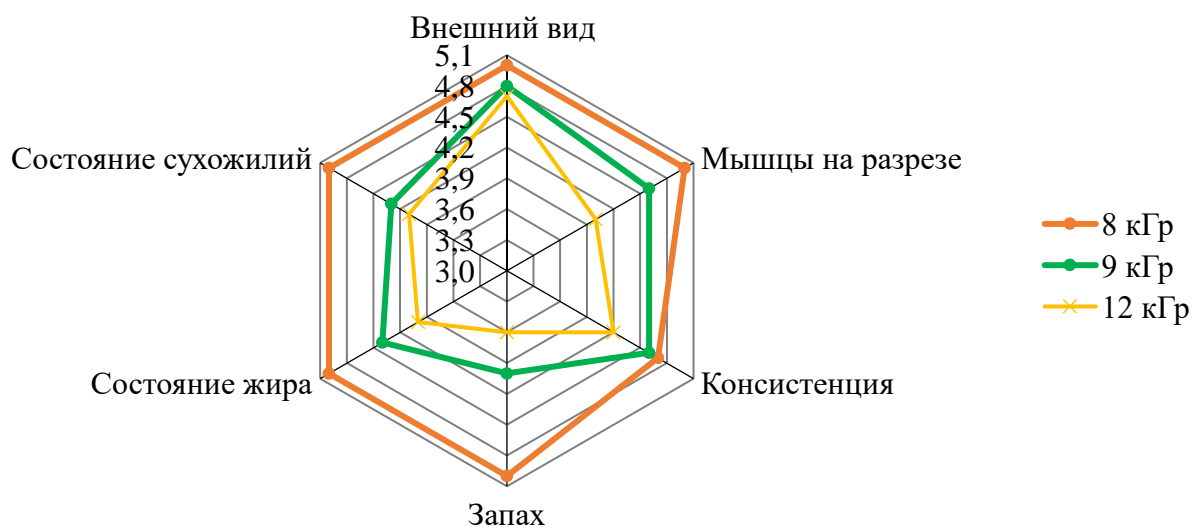


Рисунок 48 – Органолептические профили образцов шейки свиной, обработанных разными дозами ионизирующего излучения, через 30 сут хранения, балл

Наиболее отличающимися показателями между группами являются запах, состояние жира и консистенция. В образцах, обработанных дозой 12 кГр, появляется легкий запах окисленности, отмечается размягчение жира и менее упругая консистенция.

В таблице 16 представлены результаты балльной оценки обработанных разными дозами образцов охлажденной шейки свиной в процессе хранения.

Контрольные образцы шейки свиной через 10 сут хранения при температуре от 0 до 4,0 °С относятся к мясу отличного качества, через 20 сут – к мясу сомнительной свежести (удовлетворительное качество), через 30 сут – к некачественному мясу (очень плохое качество).

Таблица 16 – Результаты органолептической оценки необработанных и обработанных разными дозами ионизирующего излучения образцов шейки свиной в процессе хранения, балл ($p \leq 0,05$)

Показатель	10 сут				20 сут				30 сут			
	Доза облучения, кГр											
	0	8	9	12	0	8	9	12	0	8	9	12
Внешний вид	5,00	5,00	5,00	5,00	2,50	5,00	4,90	4,70	0,50	5,00	4,80	4,70
Мышцы на разрезе	5,00	5,00	5,00	5,00	2,00	5,00	4,90	4,80	1,80	5,00	4,60	4,00
Консистенция	5,00	5,00	5,00	5,00	2,00	4,80	4,70	4,40	1,70	4,70	4,60	4,20
Запах	5,00	5,00	5,00	5,00	1,80	5,00	4,70	4,50	0,50	5,00	4,00	3,60
Состояние жира	5,00	5,00	5,00	5,00	1,70	5,00	4,80	4,60	1,20	5,00	4,40	4,00
Состояние сухожилий	5,00	5,00	5,00	5,00	3,00	5,00	5,00	5,00	1,70	5,00	4,30	4,10
<i>Средний балл</i>	<i>5,00</i>	<i>5,00</i>	<i>5,00</i>	<i>5,00</i>	<i>2,19</i>	<i>4,97</i>	<i>4,83</i>	<i>4,64</i>	<i>0,93</i>	<i>4,96</i>	<i>4,43</i>	<i>4,08</i>

Опытные образцы полностью соответствуют характерным признакам свежего мяса на протяжении всего периода хранения с оценкой от «отличное качество» до «очень хорошее качество».

Опытные образцы второй группы (после обработки дозой 8 кГр) были оценены на 5,00; 4,97 и 4,96 балла через 10; 20 и 30 сут хранения соответственно за счет незначительного снижения оценки по консистенции через 20 и 30 сут (рисунок 49).

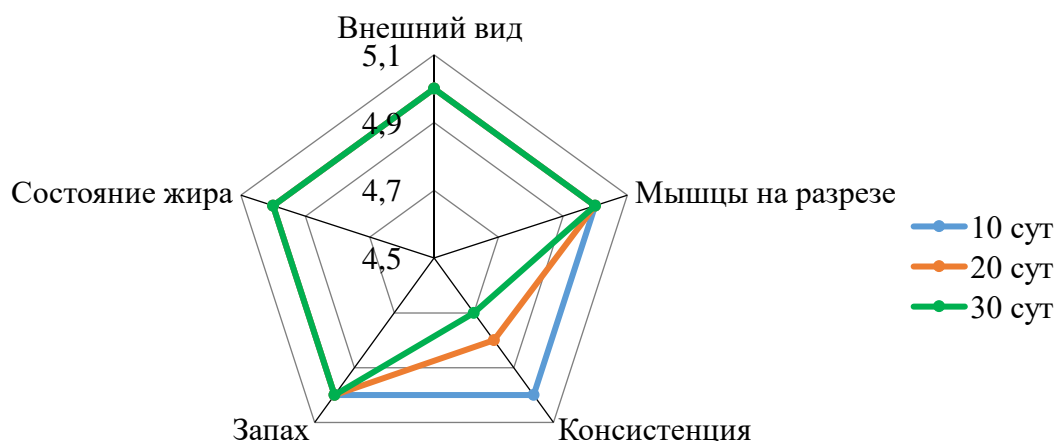


Рисунок 49 – Органолептические профили образцов шейки свиной, обработанных дозой 8 кГр, в процессе хранения, балл

Опытные образцы третьей группы (обработанные дозой 9 кГр) оценены на 5,00; 4,83 и 4,43 балла через 10; 20 и 30 сут хранения соответственно за счет

незначительного снижения оценки по такому показателю, как состояние сухожилий, который получил высший балл через 10 и 20 сут хранения (рисунок 50).

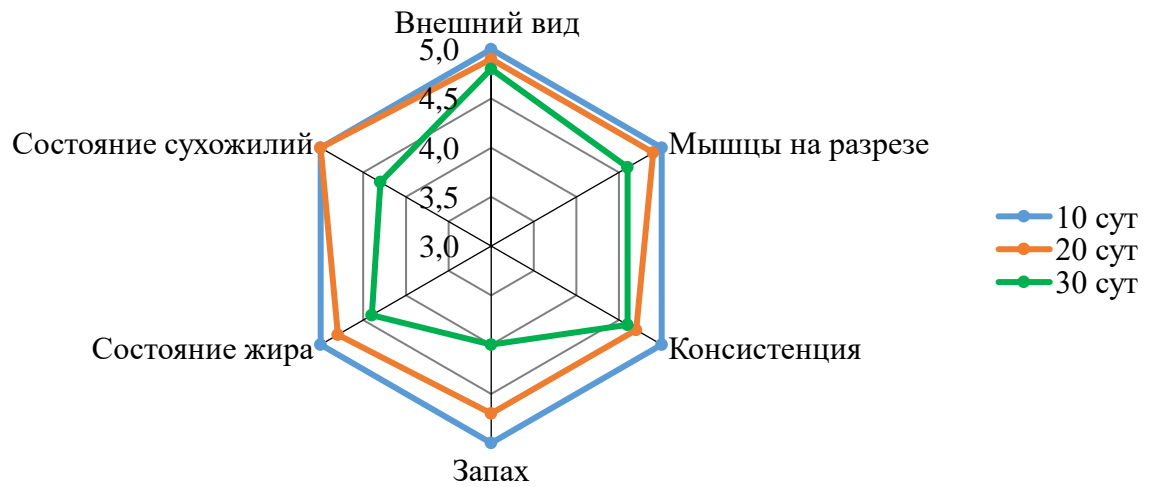


Рисунок 50 – Органолептические профили образцов шейки свиной, обработанных дозой 9 кГр, в процессе хранения, балл

Опытные образцы четвертой группы (после обработки дозой 12 кГр) оценены на 5,00; 4,64 и 4,08 балла через 10; 20 и 30 сут хранения соответственно за счет незначительного снижения оценки по пяти показателям, кроме состояния сухожилий, которое получило высший балл через 10 и 20 сут хранения (рисунок 51).

Органолептическая оценка образцов охлажденной шейки свиной на кости, упакованной в МГС, как необработанных, так и подвергнутых воздействию разных доз ионизирующего излучения, показала, что через 10 сут хранения все образцы относятся к свежей продукции, полностью соответствуют требованиям и оценены на 5 баллов; через 20 и 30 сут необработанные образцы не соответствуют нормативным требованиям и оценены на 2,19 и 0,93 балла соответственно. После обработки дозой 8 кГр образцы относятся к свежей продукции и оценены на 4,97 и 4,96 балла через 20 и 30 сут хранения; обработанные дозой 9 кГр образцы получили 4,83 и 4,43 балла; обработанные дозой 12 кГр – 4,64 и 4,08 балла соответственно.

Таким образом, можно сделать вывод, что охлажденное мясное сырье, обработанное различными дозами ионизирующего излучения (3; 8; 9; 10 и 12 кГр), соответствует требованиям нормативных документов.

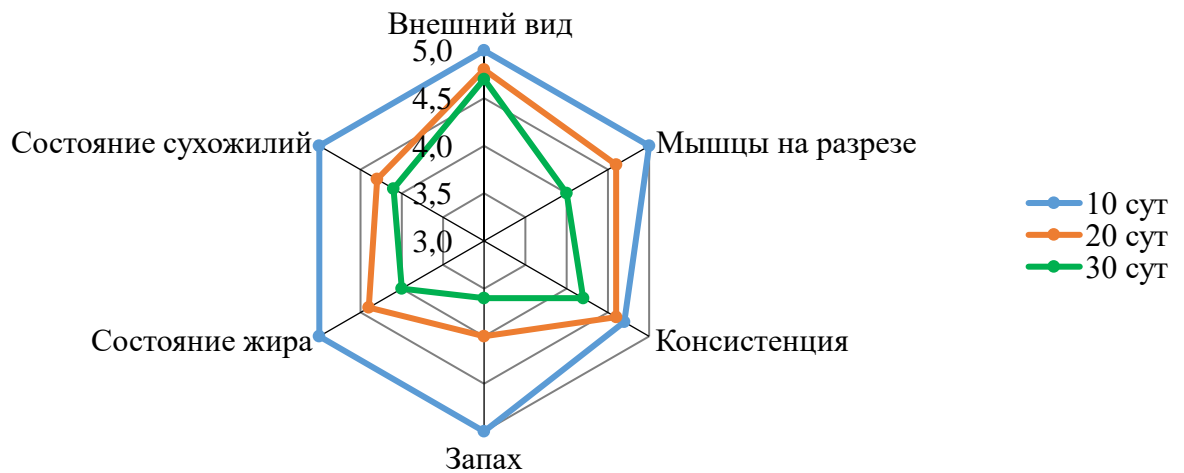


Рисунок 51 – Органолептический профиль образцов шейки свиной, обработанных дозой 12 кГр, в процессе хранения, балл

По результатам органолептической оценки различных видов мясного сырья, как необработанных, так и обработанных разными дозами ионизирующего излучения (3; 8; 9; 10 и 12 кГр), в процессе хранения установлено:

– образцы мясного сырья, не подвергавшиеся воздействию ионизирующего излучения, через 10 сут хранения соответствуют признакам свежего мяса; через 20 сут – мяса сомнительной свежести; через 30 и 39 сут – несвежего мяса;

– обработка мясного сырья (говядина, свинина, мясо косули) дозами ионизирующего излучения до 12 кГр продлевает сроки хранения до 30 сут; через 39 сут мясное сырье, обработанное дозами 3; 9 и 10 кГр, оценено как сырье хорошего качества, а обработанное дозой 12 кГр – удовлетворительного качества;

– обработка образцов мяса птицы дозами 3 и 9 кГр обеспечивает сохранение признаков свежести пищевого сырья до 30 сут хранения; обработка дозами 10 и 12 кГр приводит к ухудшению показателей свежести; мясо птицы, обработанное дозами 10 и 12 кГр, через 10 и 20 сут хранения оценено как мясо хорошего качества, через 30 сут – как мясо удовлетворительного качества.

Квалиметрический метод проведения органолептической оценки подтвердил высокое качество обработанной дозами 8; 9 и 12 кГр шейки свиной, упакованной в МГС, на протяжении периода хранения через 10; 20 и 30 сут и соответствие требованиям нормативных документов, кроме образцов, обработанных дозой 12 кГр, в течение периода хранения 30 сут.

Следовательно, обработка ионизирующим излучением мясокостных полуфабрикатов дозами 8 и 9 кГр позволяет пролонгировать срок их годности более чем в три раза с 10 до 30 сут. Органолептическая оценка не позволяет в полной мере оценить качество продукции, обработанной разными дозами ионизирующего излучения. Для комплексной оценки качества обработанной мясной продукции требуется проведение дальнейших исследований физико-химических и микробиологических показателей.

4.1.2 Пищевая ценность охлажденного мясного сырья и мясных полуфабрикатов

Исследование химического состава

охлажденного мясного сырья и мясных полуфабрикатов

Для исследования отобраны образцы говядины; свинины; шейки свиной на кости, упакованной с применением МГС; мяса косули промышленного забоя; мяса птицы (цыплят-бройлеров) (п. 2.2 диссертации).

В таблице 17 представлен химический состав разных видов мясного сырья до обработки ионизирующим излучением (содержание белка, жира и воды).

Таблица 17 – Содержание отдельных нутриентов в образцах охлажденного мясного сырья до обработки ионизирующим излучением, % ($M \pm m$) ($p \leq 0,05$)

Показатель	Говядина	Свинина	Мясо косули	Мясо птицы	Шейка свиная
Белок	21,04 ± 0,01	15,60 ± 0,02	21,80 ± 0,01	20,94 ± 0,02	17,90 ± 0,01
Жир	12,91 ± 0,02	32,10 ± 0,04	6,30 ± 0,02	14,21 ± 0,01	13,81 ± 0,02
Вода	65,08 ± 0,02	51,56 ± 0,09	70,81 ± 0,02	63,98 ± 0,08	67,50 ± 0,04

Ионизирующее излучение, как и другие технологии хранения, а также воздействие внешних факторов (нагревание, замораживание, обезвоживание, изменение

pH, тяжелые металлы и их соли) приводит к изменению химического состава пищевых продуктов.

В то же время полученные результаты согласуются с исследованиями ряда авторов, установивших, что при надлежащей технике обработки разными дозами повреждается лишь 1–2 % макронутриентов [14; 198; 367; 434; 475; 501].

В процессе хранения установлено незначительное снижение содержания воды в образцах говядины охлажденной: без обработки ионизирующим излучением – на 3,53 % после 39 сут хранения; в обработанных дозами 3; 9; 10 и 12 кГр – соответственно на 3,04; 2,97; 2,94 и 2,79 % по сравнению с началом исследований (таблица 18).

Таблица 18 – Содержание отдельных нутриентов в необработанных и обработанных разными дозами ионизирующего излучения образцах говядины в процессе хранения, % ($M \pm m$) ($p \leq 0,05$)

Показатель	Продолжительность хранения, сут				
	0	10	20	30	39
Без обработки ионизирующим излучением					
Белок	21,04 ± 0,01	20,86 ± 0,04	20,60 ± 0,03	20,13 ± 0,01	19,35 ± 0,04
Жир	12,91 ± 0,02	12,88 ± 0,01	12,75 ± 0,01	12,56 ± 0,01	12,09 ± 0,01
Вода	65,08 ± 0,02	64,07 ± 0,11	63,34 ± 0,10	62,27 ± 0,12	61,55 ± 0,12
После обработки дозой 3 кГр					
Белок	21,08 ± 0,01	20,89 ± 0,02	20,75 ± 0,03	20,71 ± 0,01	20,65 ± 0,05
Жир	12,90 ± 0,02	12,89 ± 0,01	12,88 ± 0,02	12,85 ± 0,02	12,81 ± 0,01
Вода	64,75 ± 0,02	63,83 ± 0,12	63,16 ± 0,05	62,57 ± 0,09	61,83 ± 0,08
После обработки дозой 9 кГр					
Белок	21,11 ± 0,01	21,01 ± 0,05	20,89 ± 0,04	20,83 ± 0,03	20,80 ± 0,05
Жир	12,78 ± 0,01	12,75 ± 0,01	12,74 ± 0,01	12,71 ± 0,02	12,69 ± 0,02
Вода	64,68 ± 0,08	63,76 ± 0,04	63,11 ± 0,06	62,51 ± 0,09	61,71 ± 0,10
После обработки дозой 10 кГр					
Белок	21,12 ± 0,01	21,01 ± 0,04	20,87 ± 0,04	20,82 ± 0,03	20,76 ± 0,06
Жир	12,77 ± 0,01	12,75 ± 0,03	12,74 ± 0,01	12,71 ± 0,02	12,68 ± 0,01
Вода	64,57 ± 0,09	63,66 ± 0,05	62,99 ± 0,06	62,45 ± 0,09	61,63 ± 0,11
После обработки дозой 12 кГр					
Белок	21,10 ± 0,02	20,97 ± 0,06	20,80 ± 0,04	20,76 ± 0,08	20,69 ± 0,02
Жир	12,64 ± 0,01	12,63 ± 0,02	12,60 ± 0,02	12,55 ± 0,01	12,50 ± 0,03
Вода	64,31 ± 0,09	63,46 ± 0,12	62,72 ± 0,09	62,35 ± 0,13	61,52 ± 0,08

Сохранность белка служит одним из показателей срока годности мясного сырья. Через 39 сут хранения в образцах говядины содержание белка незначительно

снижается: в необработанных образцах – на 1,69 %, после обработки дозами 3; 9; 10 и 12 кГр – на 0,43; 0,31; 0,37 и 0,41 % соответственно с высоким коэффициентом достоверности от 0,95 до 0,99 (таблица 18, рисунок 52).

Аналогичные результаты получены при оценке содержания жира: через 39 сут хранения в образцах, обработанных дозами 3; 9; 10 и 12 кГр, оно снижается соответственно на 0,09; 0,09; 0,09 и 0,14 % за счет разрушения триглицеридов жировой ткани с накоплением свободных жирных кислот.

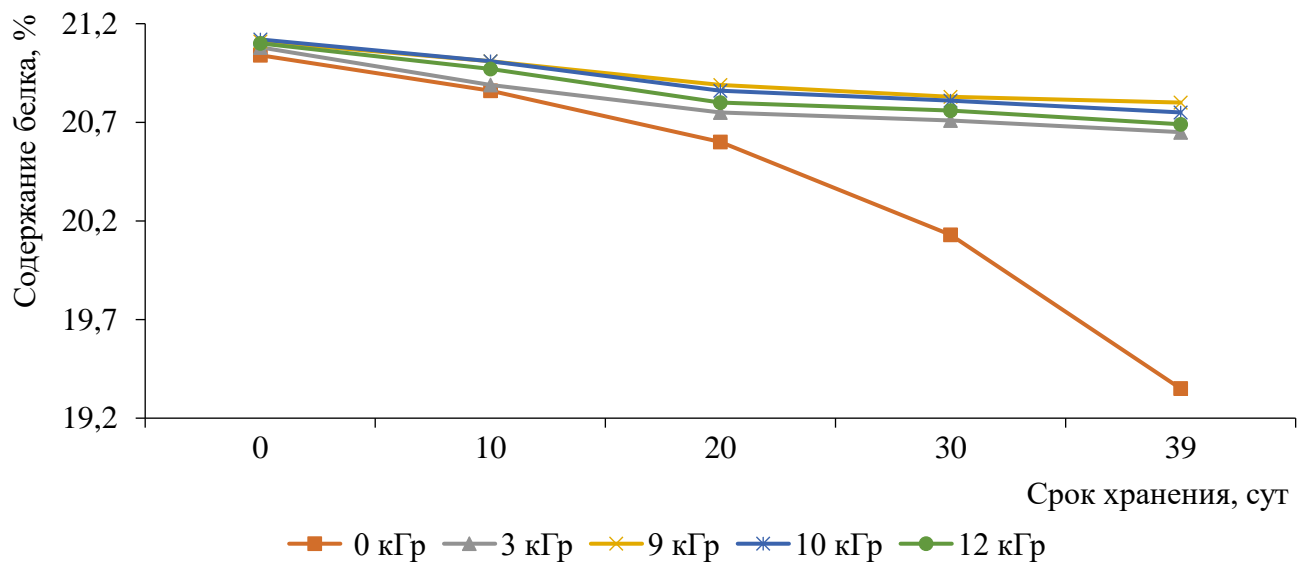


Рисунок 52 – Содержание белка в обработанных разными дозами ионизирующего излучения образцах говядины охлажденной в процессе хранения, %

Подобно говядине, в процессе хранения свинины охлажденной отмечается тенденция к снижению содержания воды: в образцах, не подвергавшихся воздействию ионизирующего излучения, – на 2,54 % через 39 сут; в обработанных дозами 3; 9; 10 и 12 кГр – на 1,99; 1,98; 1,97 и 1,95 % соответственно по сравнению с началом исследований (таблица 19).

Через 39 сут хранения содержание белка в образцах свинины охлажденной снижается: в необработанных – на 1,27 %, после обработки дозами 3; 9; 10 и 12 кГр – соответственно на 0,12; 0,02, 0,03 и 0,10 % с высоким коэффициентом достоверности от 0,91 до 0,97 (таблица 19, рисунок Л.1 в приложении Л).

Таблица 19 – Содержание отдельных нутриентов в необработанных и обработанных разными дозами ионизирующего излучения образцах свинины охлажденной в процессе хранения, % ($M \pm m$) ($p \leq 0,05$)

Показатель	Продолжительность хранения, сут				
	0	10	20	30	39
Без обработки ионизирующим излучением					
Белок	15,64 ± 0,02	15,62 ± 0,03	15,32 ± 0,01	14,98 ± 0,08	14,01 ± 0,01
Жир	32,10 ± 0,04	32,03 ± 0,05	31,69 ± 0,01	31,41 ± 0,05	30,83 ± 0,01
Вода	51,56 ± 0,09	50,91 ± 0,14	50,39 ± 0,11	49,69 ± 0,09	49,02 ± 0,12
После обработки дозой 3 кГр					
Белок	15,67 ± 0,03	15,66 ± 0,05	15,62 ± 0,03	15,59 ± 0,04	15,55 ± 0,03
Жир	32,07 ± 0,03	32,06 ± 0,11	31,99 ± 0,04	31,99 ± 0,09	31,98 ± 0,03
Вода	51,49 ± 0,10	50,98 ± 0,16	50,36 ± 0,06	49,91 ± 0,05	49,50 ± 0,09
После обработки дозой 9 кГр					
Белок	15,72 ± 0,08	15,72 ± 0,07	15,71 ± 0,03	15,70 ± 0,07	15,70 ± 0,05
Жир	32,03 ± 0,09	31,96 ± 0,06	31,91 ± 0,03	31,83 ± 0,08	31,70 ± 0,04
Вода	51,46 ± 0,09	50,92 ± 0,03	50,29 ± 0,07	49,82 ± 0,08	49,48 ± 0,10
После обработки дозой 10 кГр					
Белок	15,72 ± 0,05	15,71 ± 0,05	15,70 ± 0,03	15,70 ± 0,03	15,69 ± 0,03
Жир	31,92 ± 0,06	31,88 ± 0,05	31,81 ± 0,09	31,70 ± 0,03	31,62 ± 0,02
Вода	51,43 ± 0,04	50,88 ± 0,03	50,06 ± 0,06	49,72 ± 0,04	49,46 ± 0,02
После обработки дозой 12 кГр					
Белок	15,70 ± 0,03	15,68 ± 0,03	15,67 ± 0,04	15,63 ± 0,03	15,60 ± 0,03
Жир	31,79 ± 0,08	31,68 ± 0,04	31,59 ± 0,05	31,50 ± 0,03	31,41 ± 0,08
Вода	51,42 ± 0,09	50,78 ± 0,11	50,01 ± 0,04	49,83 ± 0,08	49,47 ± 0,04

Аналогичные результаты получены при оценке содержания жира: через 39 сут хранения в образцах свинины, обработанных дозами 3; 9; 10 и 12 кГр, оно снижается соответственно на 0,09; 0,33; 0,30 и 0,38 % за счет разрушения триглицеридов жировой ткани с накоплением свободных жирных кислот.

Содержание белка в мясе косули выше, чем в говядине, на 0,41–0,76 %, что согласуется с данными [287].

В процессе хранения мяса косули отмечаются незначительные изменения в содержании основных нутриентов. Так, содержание воды в образцах, не подвергавшихся воздействию ионизирующего излучения, уменьшилось на 2,28 % после 39 сут хранения; в обработанных дозами 3; 9; 10 и 12 кГр – соответственно на 1,49; 1,49; 1,48 и 1,47 % по сравнению с началом исследований (таблица 20).

Через 39 сут хранения также снижается содержание белка в образцах мяса косули: в необработанных – на 1,77 %; после обработки дозами 3; 9; 10 и 12 кГр –

соответственно на 0,08; 0,05; 0,06 и 0,07 % с высоким коэффициентом достоверности от 0,97 до 0,99 (таблица 20, рисунок Л.3 в приложении Л).

Таблица 20 – Содержание отдельных нутриентов в необработанных и обработанных разными дозами ионизирующего излучения образцах охлажденного мяса косули промыслового забоя в процессе хранения, % ($M \pm m$) ($p \leq 0,05$)

Показатель	Продолжительность хранения, сут				
	0	10	20	30	39
Без обработки ионизирующим излучением					
Белок	21,80 ± 0,01	21,79 ± 0,03	21,05 ± 0,05	20,71 ± 0,02	20,03 ± 0,01
Жир	6,30 ± 0,02	6,30 ± 0,01	6,29 ± 0,01	6,26 ± 0,01	5,81 ± 0,01
Вода	70,81 ± 0,02	70,11 ± 0,11	69,68 ± 0,10	69,13 ± 0,11	68,53 ± 0,10
После обработки дозой 3 кГр					
Белок	21,80 ± 0,01	21,79 ± 0,01	21,76 ± 0,01	21,75 ± 0,04	21,72 ± 0,01
Жир	6,30 ± 0,01	6,30 ± 0,01	6,29 ± 0,01	6,29 ± 0,01	6,28 ± 0,02
Вода	70,81 ± 0,03	70,49 ± 0,08	70,19 ± 0,06	69,75 ± 0,10	69,32 ± 0,12
После обработки дозой 9 кГр					
Белок	21,82 ± 0,03	21,80 ± 0,04	21,79 ± 0,08	21,78 ± 0,03	21,77 ± 0,01
Жир	6,30 ± 0,01	6,29 ± 0,01	6,29 ± 0,02	6,29 ± 0,01	6,28 ± 0,02
Вода	70,79 ± 0,05	70,45 ± 0,09	70,13 ± 0,08	69,73 ± 0,11	69,30 ± 0,12
После обработки дозой 10 кГр					
Белок	21,82 ± 0,03	21,80 ± 0,02	21,78 ± 0,02	21,77 ± 0,02	21,76 ± 0,02
Жир	6,30 ± 0,01	6,29 ± 0,01	6,27 ± 0,01	6,27 ± 0,01	6,26 ± 0,01
Вода	70,78 ± 0,07	70,43 ± 0,05	70,16 ± 0,05	69,70 ± 0,04	69,30 ± 0,08
После обработки дозой 12 кГр					
Белок	21,81 ± 0,01	21,80 ± 0,01	21,77 ± 0,02	21,76 ± 0,06	21,74 ± 0,03
Жир	6,30 ± 0,01	6,29 ± 0,01	6,27 ± 0,01	6,25 ± 0,01	6,24 ± 0,01
Вода	70,75 ± 0,06	70,40 ± 0,03	70,12 ± 0,04	69,65 ± 0,03	69,28 ± 0,08

Аналогичные результаты получены при оценке изменения содержания жира через 39 сут: в образцах, не подвергавшихся воздействию ионизирующего излучения, – на 0,49 %; в обработанных дозами 3; 9; 10 и 12 кГр – на 0,02; 0,02; 0,04 % и 0,06 % соответственно.

Подобно говядине и свинине, в процессе хранения мяса птицы изменяется содержание основных нутриентов. Так, содержание воды через 39 сут хранения в необработанных образцах уменьшилось на 2,62 %; в обработанных дозами 3; 9; 10 и 12 кГр – соответственно на 1,62; 1,61; 1,61 и 1,62 % по сравнению с началом исследований (таблица 21).

Таблица 21 – Содержание отдельных нутриентов в необработанных и обработанных разными дозами ионизирующего излучения образцах охлажденного мяса птицы в процессе хранения, % ($M \pm m$) ($p \leq 0,05$)

Показатель	Продолжительность хранения, сут				
	0	10	20	30	39
Без обработки ионизирующим излучением					
Белок	20,96 ± 0,02	20,93 ± 0,04	20,55 ± 0,03	20,11 ± 0,06	19,53 ± 0,01
Жир	14,21 ± 0,01	14,20 ± 0,02	14,14 ± 0,01	13,97 ± 0,01	13,86 ± 0,01
Вода	63,98 ± 0,08	63,55 ± 0,08	62,88 ± 0,11	62,19 ± 0,09	61,36 ± 0,12
После обработки дозой 3 кГр					
Белок	20,98 ± 0,03	20,95 ± 0,04	20,94 ± 0,04	20,92 ± 0,03	20,78 ± 0,04
Жир	14,21 ± 0,02	14,20 ± 0,01	14,20 ± 0,02	14,18 ± 0,01	14,11 ± 0,03
Вода	63,97 ± 0,07	63,64 ± 0,11	63,21 ± 0,03	62,78 ± 0,07	62,35 ± 0,04
После обработки дозой 9 кГр					
Белок	21,06 ± 0,02	21,06 ± 0,03	21,04 ± 0,04	21,00 ± 0,05	20,87 ± 0,04
Жир	14,20 ± 0,01	14,19 ± 0,02	14,18 ± 0,02	14,15 ± 0,03	14,03 ± 0,04
Вода	63,85 ± 0,06	63,62 ± 0,04	63,18 ± 0,05	62,65 ± 0,08	62,24 ± 0,05
После обработки дозой 10 кГр					
Белок	21,06 ± 0,02	21,05 ± 0,03	21,03 ± 0,05	20,98 ± 0,02	20,85 ± 0,03
Жир	14,18 ± 0,01	14,15 ± 0,03	14,12 ± 0,02	14,10 ± 0,01	14,01 ± 0,03
Вода	63,81 ± 0,08	63,58 ± 0,04	63,04 ± 0,06	62,58 ± 0,02	62,20 ± 0,03
После обработки дозой 12 кГр					
Белок	21,03 ± 0,03	21,01 ± 0,04	20,98 ± 0,03	20,94 ± 0,04	20,80 ± 0,02
Жир	14,17 ± 0,02	14,15 ± 0,01	14,13 ± 0,01	14,12 ± 0,02	14,00 ± 0,04
Вода	63,75 ± 0,08	63,40 ± 0,08	62,86 ± 0,03	62,43 ± 0,03	62,13 ± 0,07

Через 39 сут хранения незначительно снижается содержание белка в мясе птицы: в образцах, не подвергавшихся воздействию ионизирующего излучения, – на 1,43 %, после обработки дозами 3; 9; 10 и 12 кГр – на 0,20; 0,19; 0,21 и 0,23 % соответственно с высоким коэффициентом достоверности от 0,98 до 0,99 (таблица 21, рисунок Л.4 в приложении Л). Аналогичные результаты получены при оценке содержания жира в образцах мяса птицы через 39 сут по сравнению с периодом постановки на эксперимент: в необработанных – на 0,35 %, в обработанных дозами 3; 9; 10 и 12 кГр – на 0,10; 0,17; 0,17 и 0,17 % соответственно.

Что касается охлажденной шейки свинной, то в процессе хранения также отмечается тенденция к снижению содержания воды: в необработанных образцах – на 1,59 % через 39 сут хранения; в обработанных дозами 8; 9 и 12 кГр – на 0,89; 0,89 и 0,89 % соответственно (таблица 22).

Таблица 22 – Содержание отдельных нутриентов в необработанных и обработанных разными дозами ионизирующего излучения образцах охлажденной шейки свиной, упакованной с применением МГС, в процессе хранения, % ($M \pm m$) ($p \leq 0,05$)

Показатель	Продолжительность хранения, сут				
	0	10	20	30	39
Без обработки ионизирующим излучением					
Белок	17,88 ± 0,01	17,87 ± 0,04	17,80 ± 0,04	17,65 ± 0,03	17,15 ± 0,01
Жир	13,81 ± 0,02	13,80 ± 0,01	13,69 ± 0,02	13,52 ± 0,01	13,11 ± 0,01
Вода	67,50 ± 0,04	67,41 ± 0,06	67,05 ± 0,05	66,21 ± 0,06	65,91 ± 0,10
После обработки дозой 8 кГр					
Белок	17,91 ± 0,08	17,90 ± 0,04	17,89 ± 0,02	17,87 ± 0,02	17,85 ± 0,05
Жир	13,80 ± 0,09	13,78 ± 0,04	13,74 ± 0,01	13,69 ± 0,01	13,65 ± 0,03
Вода	67,48 ± 0,03	67,45 ± 0,11	67,22 ± 0,12	66,89 ± 0,07	66,59 ± 0,07
После обработки дозой 9 кГр					
Белок	17,91 ± 0,02	17,90 ± 0,03	17,88 ± 0,02	17,86 ± 0,01	17,84 ± 0,02
Жир	13,78 ± 0,03	13,77 ± 0,06	13,73 ± 0,03	13,69 ± 0,02	13,61 ± 0,01
Вода	67,45 ± 0,06	67,40 ± 0,09	67,13 ± 0,11	66,78 ± 0,09	66,56 ± 0,03
После обработки дозой 12 кГр					
Белок	17,89 ± 0,03	17,89 ± 0,03	17,85 ± 0,04	17,81 ± 0,02	17,76 ± 0,03
Жир	13,75 ± 0,08	13,72 ± 0,04	13,70 ± 0,02	13,67 ± 0,02	13,56 ± 0,04
Вода	67,44 ± 0,09	67,30 ± 0,10	67,03 ± 0,04	66,72 ± 0,06	66,55 ± 0,03

Через 39 сут хранения снижается содержание белка в образцах шейки свиной: в необработанных – на 0,73 %, после обработки дозами 8; 9 и 12 кГр – на 0,06; 0,07 и 0,13 % соответственно с высоким коэффициентом достоверности от 0,93 до 0,98 (таблица 15, рисунок Л.2 в приложении Л).

Аналогичные результаты получены при оценке содержания жира в шейке свиной: через 39 сут в необработанных образцах оно снижается на 0,70 %, в обработанных дозами 8; 9 и 12 кГр – на 0,15; 0,17 и 0,19 % соответственно.

Таким образом, установлено, что в процессе хранения происходят изменения в структуре пищевых ингредиентов: содержание воды уменьшается больше по сравнению с уменьшением содержания белков и липидов. Наиболее чувствительны к изменению все виды необработанного мясного сырья при хранении в течение 20 сут и дольше. В процессе хранения происходит автолиз белков, что приводит к увеличению количества экстрактивных веществ. Свободные аминокислоты относятся к одной из групп азотистых экстрактивных веществ, которые формируют

вкус и запах мяса. Для мясного сырья, обработанного разными дозами ионизирующего излучения, характерны следующие признаки: незначительное изменение содержания белка и уменьшение содержания влаги и жира; мясо косули отличается более стабильной химической структурой на протяжении всего периода хранения до 39 сут; говядина и свинина чувствительны к обработке дозой 12 кГр при хранении свыше 30 сут и дозой 10 кГр – при хранении свыше 39 сут; изменение содержания белка и жира в шейке свиной существенно при обработке дозой 12 кГр через 30 сут хранения; в мясе птицы обеспечиваются хорошие показатели при дозе облучения до 10 кГр через 39 сут хранения.

Полученные результаты сопоставимы с многочисленными исследованиями, показавшими незначительное влияние ионизирующего излучения на химический состав [14; 360; 367; 434; 475; 501]. Ряд авторов отмечают, что в мясе окислительные изменения липидов незначительны за счет присутствия белков и продуктов взаимодействия, которые обладают антиокислительным действием [359].

*Исследование биологической ценности белков охлажденного мясного сырья
и мясных полуфабрикатов*

Белки как высокомолекулярные органические соединения состоят из остатков α -аминокислот, являющихся производными органических кислот, в которых содержатся аминогруппы (NH_2).

Биологическая ценность определяется аминокислотными индексами (отношение общего количества незаменимых аминокислот к общему количеству заменимых аминокислот ($\text{НАК}/\text{ЗАК}$); отношение общего количества незаменимых аминокислот к общему количеству всех аминокислот ($\text{НАК}/\sum\text{АК}$)), аминокислотным скором (АКС) и белковым качественным показателем (БКП). Биологическая ценность может изменяться в результате разрушения первичной структуры белка под воздействием внешних факторов.

Для расчета АКС применяется аминокислотная шкала Продовольственного комитета Всемирной организации здравоохранения (ФАО/ВОЗ), согласно которой

в 1 г «идеального» белка содержится, мг: изолейцина – 40; лейцина – 70; лизина – 55; фенилаланина и тирозина – 60; триптофана – 10; валина – 50. Значение АКС более 100 % показывает, что количество аминокислоты полностью покрывает суточную потребность. Значение АКС менее 100 % означает недостаточное обеспечение суточной потребности; такие аминокислоты относят к лимитирующим.

Радиочувствительность определяется структурой белка: длиной углеродной цепочки, наличием ароматического кольца и др. Отмечается разная чувствительность аминокислот в свободном состоянии и включенных в белковую молекулу. Тирозин белка при воздействии ионизирующего излучения разрушается быстрее, чем свободный; фенилаланин, аргинин, пролин и гистидин в составе белка более устойчивы. В свободном состоянии особо чувствительны к ионизирующему излучению серосодержащие аминокислоты, имеющие в своем составе тиоловую или дисульфидную группы. Ароматические и гетероциклические аминокислоты по чувствительности к ионизирующему излучению могут быть поставлены в следующий ряд: гистидин > фенилаланин > тирозин > триптофан, а наиболее стабильны по отношению к ионизирующему излучению пролин и оксипролин [285].

Ряд исследователей отмечают негативные последствия гамма-излучения для пищевых продуктов при повышенных дозах за счет разрушения аминокислот (метионин, цистеин, гистидин, аргинин, тирозин), витаминов группы В и образования гидроперекисей липидов [65].

В то же время Г. В. Козьмин и др. (2015 г.) установили, что обработка продуктов питания ионизирующим излучением практически не изменяет аминокислотный состав; углеводы превращаются из более сложных соединений в менее сложные за счет разрыва преимущественно гликозидных связей [198]. В некоторых случаях возможно взаимодействие между редуцирующими углеводами и аминокислотами с образованием меланоидинов.

Аминокислоты подвергаются различным типам реакций под воздействием ионизирующего излучения: с удалением водорода, восстановительному дезаминированию, декарбоксилированию, изменению процентного соотношения между аминокислотами. Белки могут превращаться в более мелкие полипептиды, также возможна агрегация глобулярных белков, например при обработке мяса ионизи-

рующим излучением [473; 518]. Важно отметить, что аминокислоты, содержащиеся в белках пищевых продуктов, химически более устойчивы, чем чистые растворы, за счет относительной недоступности в пищевой системе.

Мясо убойных животных и птицы содержит незаменимые аминокислоты в сбалансированном состоянии.

К качественным показателям, характеризующим биологическую ценность белкового компонента мясного и рыбного сырья, относятся: БКП, аминокислотный индекс (НАК/ЗАК, НАК/ΣАК), АКС, коэффициент различия/разбалансированности аминокислотного сора (КРАС), биологическая ценность белка (БЦ), коэффициент утилитарности аминокислотного состава (KU), коэффициент сопоставимой избыточности (KG), предложенные авторами [111; 112; 113; 114; 143; 144; 202] и основанные на принципах Митчелла – Блока.

Исследование аминокислотного состава проводилось при хранении до 30 сут в соответствии с результатами органолептической оценки.

Для исследования влияния ионизирующего излучения на качественные показатели сбалансированности аминокислотного состава мясного сырья и мясных полуфабрикатов в течение 30 сут хранения были проведены комплексные исследования.

Исследование биологической ценности белков говядины

После обработки говядины разными дозами ионизирующего излучения установлено незначительное снижение общего количества аминокислот: при дозе 3 кГр – на 0,56 %, в том числе незаменимых – на 0,54 %, заменимых – на 0,57 % по сравнению с необработанными образцами; при дозе 9 кГр – на 1,16; 0,93 и 1,31 % соответственно; при дозе 10 кГр – на 1,47; 1,17 и 1,67 %; при дозе 12 кГр – на 1,92; 1,60 и 2,13 %, что согласуется с данными [14].

Уменьшение содержания отдельных аминокислот после обработки дозой 12 кГр по сравнению с необработанными образцами неравнозначно. Так, в образцах

говядины после обработки ионизирующим излучением наибольшие изменения зафиксированы по аргинину (4,30 %) и гистидину (5,26 %), наименьшие изменения – по изолейцину (0,81 %) и пролину (0,64 %) (приложение Л, таблица Л.1) ($p \leq 0,05$). Белки говядины отличаются сбалансированным аминокислотным составом. Доминирующим по содержанию на 100 г продукта среди незаменимых аминокислот является лейцин, среди заменимых – глутаминовая кислота.

Несмотря на снижение количества свободных незаменимых аминокислот в образцах говядины при обработке ионизирующим излучением, АКС белка во всех образцах имеет значение более 100 %, что полностью покрывает суточную потребность в незаменимых аминокислотах, при этом более высокое значение АКС имеют образцы, которые не подвергались воздействию ионизирующего излучения либо были обработаны дозой 3 кГр. АКС собственно аминокислот в образцах говядины охлажденной до и после обработки ионизирующим излучением показывает, что содержание незаменимых аминокислот в исследуемых образцах больше, чем в «идеальном» белке (таблица 23). В необработанных образцах говядины не выявлено лимитирующей аминокислоты, что соотносится с исследованиями ряда авторов по необлученной продукции [123]. В то же время имеются данные об установлении лимитирующих аминокислот в белках мяса говядины: из группы серосодержащих – метионин+цистин; валин и треонин [220; 270].

Таблица 23 – Аминокислотный скор белков говядины до и после обработки ионизирующим излучением, %

Аминокислота	Доза облучения, кГр				
	0	3	9	10	12
Валин	107,74	107,02	106,86	106,43	106,17
Изолейцин	103,32	102,80	102,53	102,25	102,19
Лейцин	115,42	114,56	114,16	113,81	113,16
Лизин	143,67	143,04	141,82	141,60	141,10
Метионин+цистин	102,73	101,93	101,43	101,08	100,93
Треонин	104,07	103,40	102,89	102,60	102,57
Триптофан	127,49	125,69	125,04	124,06	123,60
Фенилаланин+тирозин	120,09	118,85	117,45	116,73	115,96
<i>Итого</i>	<i>115,94</i>	<i>115,11</i>	<i>114,44</i>	<i>114,03</i>	<i>113,63</i>

Результаты сравнительной оценки сбалансированности аминокислотного состава говядины охлажденной до и после обработки ионизирующим излучением дозами 3; 9; 10 и 12 кГр, а также в процессе хранения представлены в таблицах 24, 25 и на рисунке 53.

Таблица 24 – Качественная оценка сбалансированности аминокислотного состава белков говядины до и после обработки ионизирующим излучением

Показатели оценки сбалансированности аминокислотного состава	Доза облучения, кГр				
	0	3	9	10	12
Общая сумма аминокислот, мг/100 г продукта	19 850,20	19 739,35	19 620,19	19 558,38	19 469,27
Содержание незаменимых аминокислот, мг/100 г продукта	7 892,12	7 849,41	7 818,86	7 799,98	7 766,06
Содержание заменимых аминокислот, мг/100 г продукта	11 958,08	11 889,94	11 801,33	11 758,40	11 703,21
БКП	5,78	5,79	5,80	5,81	5,82
НАК/ЗАК	0,6600	0,6602	0,6625	0,6634	0,6636
НАК/∑АК	0,3976	0,3977	0,3985	0,3988	0,3989
АКС, %	115,94	115,11	114,44	114,03	113,63
КРАС, %	12,84	12,73	12,59	12,49	12,28
БЦ, %	87,16	87,27	87,41	87,51	87,71
<i>KU</i>	0,886	0,885	0,886	0,886	0,888
<i>KG</i>	0,0463	0,0466	0,0462	0,0461	0,0453

БКП, характеризующий биологическую полноценность мяса, в образцах говядины, обработанных дозой 12 кГр, выше на 0,04 п. по сравнению с необработанными образцами.

Аминокислотные индексы также имеют тенденцию к увеличению при этой дозе – на 0,0036 п. (НАК/ЗАК) и на 0,0013 п. (НАК/∑АК), что выше аминокислотных индексов по данным ФАО/ВОЗ для «идеального» белка ($p \leq 0,05$). При дозах облучения 0; 5; 10; 20 и 50 кГр аминокислотный индекс НАК/ЗАК (*EAA index – essential amino acid index*) отличается достаточной неизменностью [367], что сопоставимо с результатами наших исследований.

В результате исследований установлено, что более низкие значения КРАС после обработки ионизирующим излучением говядины охлажденной обеспечивают более высокие значения биологической ценности белка.

Таблица 25 – Качественная оценка сбалансированности аминокислотного состава белков необработанных и обработанных дозой 10 кГр образцов говядины в процессе хранения

Показатели оценки сбалансированности аминокислотного состава	Продолжительность хранения, сут					
	0	10	0	10	20	30
	Необработанные образцы		Образцы, обработанные дозой 10 кГр			
Общая сумма аминокислот, мг/100 г продукта	19 850,20	19 556,81	19 558,38	19 401,63	19 262,00	19 183,57
Содержание незаменимых аминокислот, мг/100 г продукта	7 892,12	7 713,84	7 799,98	7 769,36	7 716,83	7 682,64
Содержание заменимых аминокислот, мг/100 г продукта	11 958,08	11 842,97	11 758,40	11 632,27	11 545,17	11 500,93
БКП	5,78	5,77	5,81	5,91	5,91	5,91
НАК/ЗАК	0,6600	0,6513	0,6634	0,6679	0,6684	0,6680
НАК/ΣАК	0,3976	0,3944	0,3988	0,4004	0,4006	0,4005
АКС, %	115,94	114,46	114,03	113,69	113,70	113,50
КРАС, %	12,84	11,35	12,49	12,00	11,75	11,71
БЦ, %	87,16	88,65	87,51	88,00	88,25	88,29
<i>KU</i>	0,886	0,900	0,886	0,891	0,894	0,895
<i>KG</i>	0,0463	0,0400	0,0461	0,0440	0,0426	0,0424

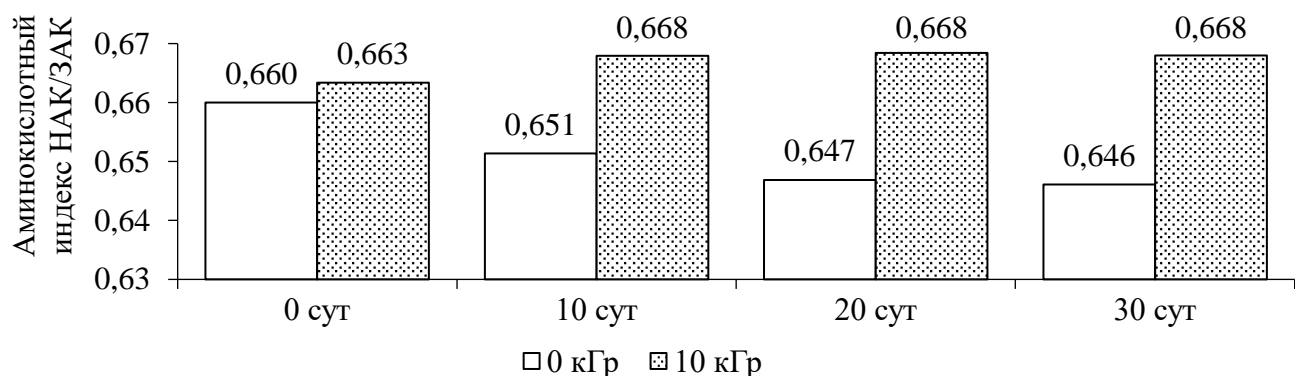


Рисунок 53 – Аминокислотный индекс белков мышечной ткани необработанных и обработанных дозой 10 кГр образцов говядины в процессе хранения

Коэффициент утилитарности аминокислотного состава в исследуемых образцах характеризует высокую степень сбалансированности незаменимых аминокислот по отношению к физиологической норме по «идеальному» (эталонному) белку. Установлено высокое значение коэффициента утилитарности. Низкий коэффициент сопоставимой избыточности содержания незаменимых аминокислот в белковом компоненте образцов говядины показывает, что меньшее количество незаменимых

аминокислот не используется на анаболические цели из-за несбалансированности аминокислотного состава ($p \leq 0,05$).

Исследование качественных показателей аминокислотного состава проводилось по результатам органолептической оценки с учетом изменения показателей свежести охлажденного мяса: для необработанных образцов говядины – до 10 сут хранения, после обработки дозой 10 кГр – до 30 сут. Несмотря на более низкие значения по содержанию аминокислот, при сравнительной оценке до 10 сут хранения образцы, обработанные дозой 10 кГр, имеют более высокие значения показателей по сравнению с необработанными при аналогичном сроке хранения, в том числе БКП – на 0,14 п., БЦ – на 0,65 % и аминокислотных индексов. Через 30 сут при сохранении высокой сбалансированности белка отмечается незначительное изменение ряда показателей в обработанных образцах: общая сумма аминокислот снижается на 1,92 %, в том числе незаменимых – на 1,50 %, что ведет к незначительному снижению АКС; БКП увеличивается на 0,1 п., БЦ – на 0,78 %, коэффициент утилитарности аминокислотного состава – на 0,009 п. по сравнению с моментом постановки на опыт ($p \leq 0,05$) (см. таблицу 25).

В результате исследований установлено, что обработка говядины ионизирующим излучением в дозе до 10 кГр приводит к увеличению аминокислотного индекса НАК/ЗАК по сравнению с необработанными образцами в процессе хранения (см. рисунок 52).

Таким образом, обработка ионизирующим излучением охлажденной говядины дозой до 10 кГр позволяет обеспечить высокие показатели сбалансированности аминокислотного состава и биологической ценности белка на протяжении всего периода хранения до 30 сут, при этом белки говядины остаются полноценными. Лимитирующая аминокислота не установлена, наименьший скор выявлен по группе серосодержащих аминокислот (метионин+цистин). После обработки ионизирующим излучением качественные показатели (БКП, БЦ, аминокислотный индекс) выше, чем в необработанных образцах.

Исследование биологической ценности белков свинины

После обработки образцов охлажденной свинины разными дозами ионизирующего излучения установлено незначительное снижение общего количества аминокислот по сравнению с необработанными образцами: при дозе 3 кГр – на 0,48 %, в том числе незаменимых – на 0,41 %, заменимых – на 0,53 %; при дозе 9 кГр – на 1,65; 1,31 и 1,88 % соответственно; при дозе 10 кГр – на 2,01; 1,62 и 2,29 %; при дозе 12 кГр – на 2,77; 2,54 и 2,93 %, что согласуется с данными [14].

Уменьшение содержания отдельных аминокислот в обработанных дозой 12 кГр образцах по сравнению с необработанными неравнозначно. Так, после обработки ионизирующим излучением наибольшие изменения зафиксированы по гистидину (5,68 %) и оксипролину (4,76 %), наименьшие – по метионину (0,93 %) и цистину (1,08 %) (приложение Л, таблица Л.2) ($p \leq 0,05$). Белки свинины отличаются сбалансированным аминокислотным составом. Доминирующим по содержанию на 100 г продукта из незаменимых аминокислот является лизин, из заменимых – глутаминовая кислота.

Несмотря на снижение количества свободных незаменимых аминокислот в обработанных образцах охлажденной свинины по сравнению с необработанными, АКС во всех образцах имеет значение более 100 %, что полностью покрывает суточную потребность в незаменимых аминокислотах, при этом более высокие значение имеют образцы, не подвергавшиеся воздействию ионизирующего излучения либо обработанные дозой 3 кГр. Белки свинины относятся к полноценным. АКС собственно аминокислот до и после обработки ионизирующим излучением показывает, что содержание незаменимых аминокислот в исследуемых образцах больше, чем в «идеальном» белке; наименьший АКС выявлен по комплексу серосодержащих аминокислот (метионин+цистин). Установлено, что в необработанных образцах свинины отсутствуют лимитирующие аминокислоты (таблица 2б), что соотносится с исследованиями ряда авторов по необлученной продукции [123].

Таблица 26 – Аминокислотный скор белков свинины до и после обработки ионизирующим излучением, %

Аминокислота	Доза облучения, кГр				
	0	3	9	10	12
Валин	121,45	120,76	119,31	118,85	117,85
Изолейцин	128,10	127,44	126,22	125,59	123,12
Лейцин	107,17	106,72	105,45	105,27	105,21
Лизин	151,57	150,09	148,44	147,94	147,61
Метионин+цистин	102,83	102,51	101,60	101,43	101,43
Треонин	124,42	123,93	121,65	121,15	119,71
Триптофан	188,39	186,27	183,63	183,11	179,92
Фенилаланин+тирозин	128,03	126,92	124,53	124,20	123,22
<i>Итого</i>	<i>125,49</i>	<i>124,68</i>	<i>123,03</i>	<i>122,64</i>	<i>121,75</i>

Результаты сравнительной оценки сбалансированности аминокислотного состава свинины охлажденной до и после обработки ионизирующим излучением дозами 3; 9; 10 и 12 кГр, а также в процессе хранения представлены в таблицах 27, 28 и на рисунке 54.

Таблица 27 – Качественная оценка сбалансированности аминокислотного состава белков свинины до и после обработки ионизирующим излучением

Показатели оценки сбалансированности аминокислотного состава	Доза облучения, кГр				
	0	3	9	10	12
Общая сумма аминокислот, мг/100 г продукта	15 267,31	15 193,71	15 015,98	14 959,81	14 844,26
Содержание незаменимых аминокислот, мг/100 г продукта	6 330,89	6 305,08	6 247,99	6 228,32	6 170,09
Содержание заменимых аминокислот, мг/100 г продукта	8 936,42	8 888,63	8 767,99	8 731,49	8 674,16
БКП	5,781	5,827	5,914	5,921	5,820
НАК/ЗАК	0,7084	0,7093	0,7126	0,7133	0,7113
НАК/ΣАК	0,4147	0,4150	0,4161	0,4163	0,4157
АКС, %	125,49	124,68	123,03	122,64	121,75
КРАС, %	19,93	19,56	18,90	18,78	18,02
БЦ, %	80,07	80,44	81,10	81,22	81,98
<i>KU</i>	0,8194	0,8222	0,8258	0,8271	0,8331
<i>KG</i>	0,0793	0,0779	0,0759	0,0753	0,0721

БКП, характеризующий биологическую полноценность мяса, в образцах, обработанных дозой 10 кГр, на 0,140 п. выше, чем в необработанных.

Таблица 28 – Качественная оценка сбалансированности аминокислотного состава белков необработанных и обработанных дозой 9 кГр образцов свинины в процессе хранения

Показатели оценки сбалансированности аминокислотного состава	Продолжительность хранения, сут							
	0		10		20		30	
	Необработанные образцы			Образцы, обработанные дозой 9 кГр				
Общая сумма аминокислот, мг/100 г продукта	15 267,31	15 096,02	15 015,98	14 861,57	14 650,73	14 602,60		
Содержание незаменимых аминокислот, мг/100 г продукта	6 330,89	6 204,59	6 247,99	6 213,99	6 122,28	6 102,21		
Содержание заменимых аминокислот, мг/100 г продукта	8 936,42	8 891,42	8 767,99	8 647,58	8 528,45	8 500,39		
БКП	5,781	5,777	5,914	5,913	5,910	5,909		
НАК/ЗАК	0,7084	0,6978	0,7126	0,7186	0,7179	0,7179		
НАК/∑АК	0,4147	0,4110	0,4161	0,4181	0,4179	0,4179		
АКС, %	125,49	124,40	123,03	122,34	120,69	120,38		
КРАС, %	19,93	19,81	19,01	18,81	18,33	18,27		
БЦ, %	80,07	80,19	80,99	81,19	81,67	81,73		
KU	0,8194	0,8317	0,8258	0,8285	0,8370	0,8376		
KG	0,0793	0,0729	0,0759	0,0745	0,0701	0,0698		

Аминокислотные индексы имеют тенденцию к увеличению в образцах, обработанных дозой 12 кГр, по сравнению с необработанными – на 0,0029 п. (НАК/ЗАК) и на 0,0010 п. (НАК/∑АК), что выше значений по данным ФАО/ВОЗ для «идеального» белка ($p \leq 0,05$).

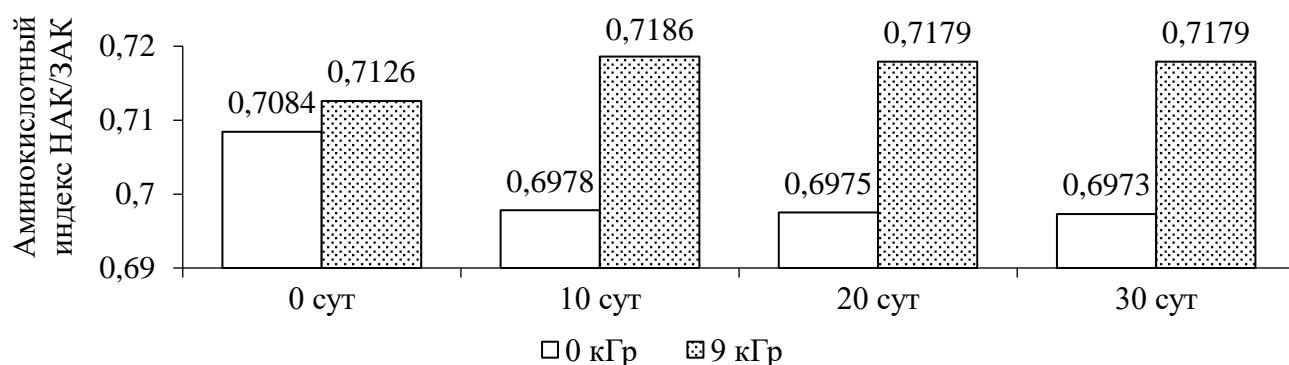


Рисунок 54 – Аминокислотный индекс белков мышечной ткани необработанных и обработанных дозой 9 кГр образцов свинины в процессе хранения

В результате проведенных исследований установлено, что более низкие значения КРАС после обработки ионизирующим излучением свинины охлажденной

обеспечивают более высокую биологическую ценность белка. Коэффициент утилитарности аминокислотного состава в исследуемых образцах определяет высокую степень сбалансированности незаменимых аминокислот по отношению к физиологической норме по «идеальному» (эталонному) белку. После обработки коэффициент утилитарности увеличился на 0,137 п. В свою очередь, коэффициент сопоставимой избыточности содержания незаменимых аминокислот в белковом компоненте образцов свинины уменьшается на 0,0072 п. и показывает, что после обработки ионизирующим излучением меньшее количество незаменимых аминокислот не используется на анаболические цели из-за несбалансированности аминокислотного состава ($p \leq 0,05$) (см. таблицу 27).

Исследование качественных показателей аминокислотного состава проводилось по результатам органолептической оценки с учетом изменений показателей свежести свинины охлажденной: для образцов, не подвергавшихся воздействию ионизирующего излучения, – до 10 сут хранения; для обработанных дозой 9 кГр – до 30 сут. Несмотря на более низкое содержание аминокислот, при сравнительной оценке через 10 сут хранения образцы, обработанные дозой 9 кГр, имели более высокие значения, чем необработанные, в том числе по БКП на 0,136 п. и аминокислотным индексам. Через 30 сут хранения при сохранении высоких значений сбалансированности белка отмечается незначительное изменение ряда показателей в обработанных образцах: общая сумма аминокислот снижается на 2,75 %, в том числе незаменимых – на 2,33 %, что ведет к незначительному снижению БКП на 0,005 п. при повышении БЦ на 0,74 % и аминокислотных индексов по сравнению с моментом постановки на опыт ($p \leq 0,05$) (см. таблицу 28).

Установлено, что обработка охлажденной свинины дозой до 9 кГр приводит к улучшению значений аминокислотного индекса НАК/ЗАК по сравнению с необработанными образцами в процессе хранения (см. рисунок 53).

Таким образом, обработка охлажденной свинины дозой до 9 кГр позволяет обеспечить высокие значения сбалансированности аминокислотного состава и биологической ценности белка на протяжении всего периода хранения до 30 сут, при этом белки охлажденной свинины являются полноценными. Лимитирующая

аминокислота не установлена, наименьший скор выявлен по группе серосодержащих аминокислот (метионин+цистин). После обработки ионизирующим излучением качественные показатели (БКП, аминокислотный индекс, коэффициент утилитарности) выше, чем в необработанных образцах.

*Исследование биологической ценности белков шейки свиной,
упакованной с применением МГС*

После обработки ионизирующим излучением образцов охлажденной шейки свиной разными дозами установлено незначительное снижение общего количества аминокислот по сравнению с образцами, не прошедшими обработку: при дозе 8 кГр – на 1,52 %, в том числе незаменимых – на 0,99 %, заменимых – на 1,90 %; при дозе 12 кГр – на 3,24; 2,75 и 3,60 % соответственно, что согласуется с данными [14].

После обработки дозой 12 кГр содержание отдельных аминокислот в охлажденной шейке свиной снижается неоднозначно. Так, в обработанных образцах по сравнению с необработанными уменьшается содержание аминокислот: наибольшие изменения зафиксированы по аргинину (5,10 %), аланину (4,80 %), гистидину (4,17 %), фенилаланину (3,87 %) и аспарагиновой кислоте (3,69 %); наименьшие изменения – по пролину (1,78 %) и реонину (2,00 %) (приложение Л, таблица Л.3) ($p \leq 0,05$). Белки шейки свиной отличаются сбалансированным аминокислотным составом. Доминирующим по содержанию на 100 г продукта среди незаменимых аминокислот является лизин, среди заменимых – глутаминовая кислота.

Несмотря на снижение количества свободных незаменимых аминокислот в обработанных образцах охлажденной шейки свиной по сравнению с необработанными, АКС во всех образцах имеет значение более 100 %, что полностью покрывает суточную потребность в незаменимых аминокислотах, с более высоким показателем в необработанных образцах. Белки шейки свиной относятся к полноценным. АКС собственно аминокислот в образцах до и после обработки ионизирующим излучением показывает, что содержание незаменимых аминокислот в исследуемых образцах больше, чем в «идеальном» белке (таблица 29).

Таблица 29 – Аминокислотный скор белков шейки свиной до и после обработки ионизирующим излучением, %

Аминокислота	Доза облучения, кГр		
	0	8	12
Валин	113,61	112,34	107,45
Изолейцин	126,75	124,18	119,78
Лейцин	110,88	109,94	104,84
Лизин	159,28	157,86	151,50
Метионин+цистин	108,02	106,30	102,37
Треонин	116,97	115,85	111,66
Триптофан	166,85	165,38	158,55
Фенилаланин+тирозин	133,69	131,59	126,06
<i>Итого</i>	<i>126,17</i>	<i>124,63</i>	<i>119,54</i>

Результаты сравнительной оценки сбалансированности аминокислотного состава образцов шейки свиной до и после обработки ионизирующим излучением дозами 8 и 12 кГр, а также в процессе хранения представлены в таблицах 30, 31 и на рисунке 55.

Таблица 30 – Качественная оценка сбалансированности аминокислотного состава белков шейки свиной до и после обработки ионизирующим излучением

Показатели оценки сбалансированности аминокислотного состава	Доза облучения, кГр		
	0	8	12
Общая сумма аминокислот, мг/100 г продукта	17 389,36	17 125,55	16 825,35
Содержание незаменимых аминокислот, мг/100 г продукта	7 280,27	7 208,48	7 080,16
Содержание заменимых аминокислот, мг/100 г продукта	10 109,08	9 917,07	9 745,18
БКП	6,58	6,66	6,62
НАК/ЗАК	0,7202	0,7269	0,7265
НАК/ Σ АК	0,4187	0,4209	0,4208
АКС, %	126,17	124,63	119,54
КРАС, %	21,48	21,63	20,40
БЦ, %	78,52	78,37	79,60
<i>KU</i>	0,8562	0,8530	0,8564
<i>KG</i>	0,0605	0,0621	0,0604

БКП, характеризующий биологическую полноценность мяса, выше в образцах, обработанных дозой 8 кГр, по сравнению с необработанными образцами – на 0,08 п. и обработанными дозой 12 кГр – на 0,06 п.

Таблица 31 – Качественная оценка сбалансированности аминокислотного состава белков необработанных и обработанных дозой 8 кГр образцов охлажденной шейки свиной в процессе хранения

Показатели оценки сбалансированности аминокислотного состава	Продолжительность хранения, сут							
	0		10		20		30	
	Необработанные образцы			Образцы, обработанные дозой 8 кГр				
Общая сумма аминокислот, мг/100 г продукта	17 389,36	17 109,24	17 125,55	17 110,21	16 975,68	16 834,03		
Содержание незаменимых аминокислот, мг/100 г продукта	7 280,27	7 141,65	7 208,48	7 202,11	7 158,10	7 113,45		
Содержание заменимых аминокислот, мг/100 г продукта	10 109,08	9 967,60	9 917,07	9 908,10	9 817,59	9 720,57		
БКП	6,578	6,561	6,659	6,695	6,722	6,796		
НАК/ЗАК	0,7202	0,7165	0,7269	0,7269	0,7291	0,7318		
НАК/ΣАК	0,4187	0,4174	0,4209	0,4209	0,4217	0,4226		
АКС, %	126,17	124,02	124,63	124,57	123,90	123,19		
КРАС, %	21,48	20,20	21,63	21,62	22,00	21,97		
БЦ, %	78,52	79,80	78,37	78,38	78,00	78,03		
KU	0,8562	0,8666	0,8530	0,8526	0,8481	0,8478		
KG	0,0605	0,0554	0,0621	0,0622	0,0645	0,0646		

Аминокислотные индексы имеют более высокие значения в образцах, обработанных дозой 8 кГр, по сравнению с необработанными и обработанными дозой 12 кГр: НАК/ЗАК – на 0,0067 и 0,0063 п. соответственно; НАК/ΣАК – на 0,0022 и 0,0001 п. соответственно, что выше значений по данным ФАО/ВОЗ для «идеального» белка ($p \leq 0,05$).

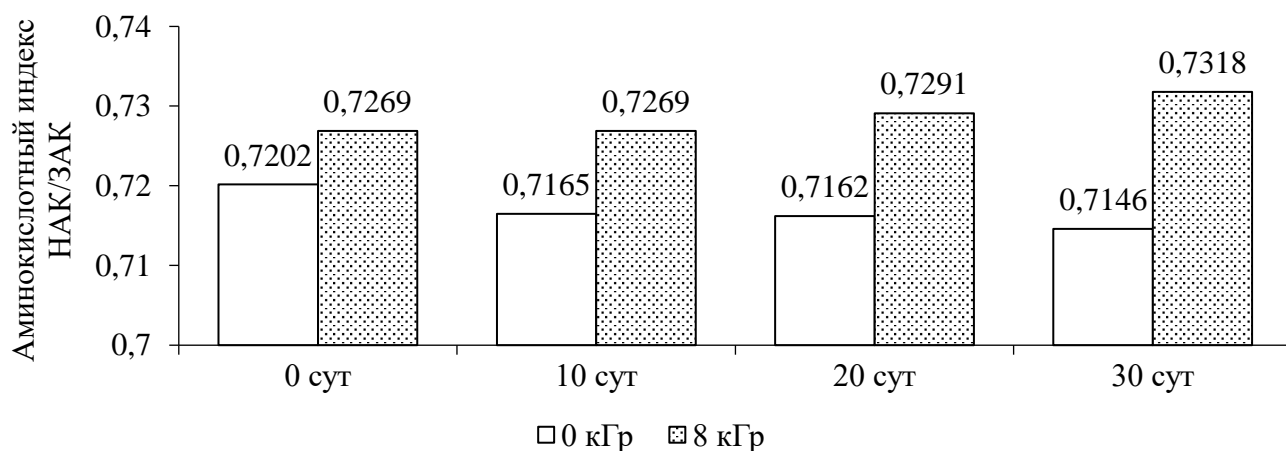


Рисунок 55 – Аминокислотный индекс белков мышечной ткани необработанных и обработанных дозой 8 кГр образцов шейки свиной в процессе хранения

Более низкие значения КРАС после обработки ионизирующим излучением охлажденной шейки свиной, обеспечивают более высокие показатели биологической ценности белка. Коэффициент утилитарности аминокислотного состава в исследуемых образцах определяет высокую степень сбалансированности незаменимых аминокислот по отношению к физиологической норме по «идеальному» (эталонному) белку. После обработки дозой 12 кГр коэффициент утилитарности увеличился на 0,0002 п. по сравнению с необработанными образцами. Коэффициент сопоставимой избыточности содержания незаменимых аминокислот в белковом компоненте шейки свиной уменьшается на 0,0001 п. и показывает, что после обработки ионизирующим излучением меньшее количество незаменимых аминокислот не используется на анаболические цели из-за несбалансированности аминокислотного состава ($p \leq 0,05$) (см. таблицу 30).

Исследование качественных показателей аминокислотного состава проводилось согласно результатам органолептической оценки и показателям свежести: для образцов, не подвергавшихся воздействию ионизирующего излучения, – до 10 сут хранения; для обработанных дозой 8 кГр – до 30 сут. Несмотря на более низкие значения по содержанию аминокислот на момент постановки на опыт, при сравнительной оценке через 10 сут хранения образцы охлажденной шейки свиной, обработанные дозой 8 кГр, имеют более высокие значения по сравнению с необработанными образцами на аналогичном сроке хранения, в том числе по БКП на 0,134 п. и аминокислотному индексу. Через 30 сут при сохранении высоких значений показателя сбалансированности белка отмечается незначительное изменение ряда показателей в обработанных образцах: общая сумма аминокислот снижается на 1,70 %, в том числе незаменимых – на 1,32 %, что ведет к незначительному повышению БКП на 0,137 п. ($p \leq 0,05$) (см. таблицу 31).

В результате исследований установлено, что обработка ионизирующим облучением шейки свиной в дозе до 8 кГр приводит к увеличению аминокислотного индекса НАК/ЗАК по сравнению с необработанными образцами при постановке на опыт (см. рисунок 54).

Таким образом, обработка охлажденной шейки свиной, упакованной с применением МГС, дозой ионизирующего излучения до 8 кГр позволяет обеспечить высокие значения сбалансированности аминокислотного состава и биологической ценности белка на протяжении всего периода хранения до 30 сут, при этом белки охлажденной свинины являются полноценными. Лимитирующая аминокислота не установлена, наименьший скор выявлен по группе серосодержащих аминокислот (метионин+цистин). После обработки ионизирующим излучением качественные показатели (БКП, аминокислотный индекс) выше, чем в необработанных образцах.

Исследование биологической ценности белков мяса косули промышленного забоя

После обработки ионизирующим излучением мяса косули разными дозами установлено незначительное снижение общего количества аминокислот по сравнению с необработанными образцами: при дозе 3 кГр – на 0,40 %, в том числе незаменимых – на 0,33 %, заменимых – на 0,45 %; при дозе 9 кГр – на 1,02; 0,94 и 1,09 % соответственно; при дозе 10 кГр – на 1,31; 1,15 и 1,44 %; при дозе 12 кГр – на 2,82; 3,02 и 2,65 %, что согласуется с данными [14].

Уменьшение содержания отдельных аминокислот после обработки ионизирующим излучением мяса косули дозой 12 кГр по сравнению с необработанными образцами неодинаково. Так, после обработки наибольшие изменения установлены по аланину (4,84 %), аргинину (4,77 %) и гистидину (4,02 %), наименьшие изменения – по аспарагиновой кислоте (1,44 %) и тирозину (1,40 %) ($p \leq 0,05$) (приложение Л, таблица Л.4). Белки мяса косули отличаются высоким содержанием незаменимых аминокислот и сбалансированностью по аминокислотному составу, что подтверждается результатами исследований ряда авторов [86; 107; 117]. Доминирующим по содержанию на 100 г продукта среди незаменимых аминокислот является лейцин, среди заменимых – глутаминовая кислота.

Несмотря на снижение количества свободных незаменимых аминокислот в обработанных образцах мяса косули по сравнению с необработанными, АКС во

всех образцах имеет значение более 100 %, что полностью покрывает суточную потребность в незаменимых аминокислотах, при этом более высокий показатель отмечен в образцах, которые не подвергались действию ионизирующего излучения либо были обработаны дозой 3 кГр. Белки мяса косули относятся к полноценным. АКС собственно аминокислот до и после обработки ионизирующим излучением показывает, что содержание всех незаменимых аминокислот в исследуемых образцах больше, чем в «идеальном» белке (особенно по лейцину и лизину). В необработанных образцах мяса косули не выявлено лимитирующей аминокислоты (таблица 32), наименьший скор – по треонину.

Таблица 32 – Аминокислотный скор белков мяса косули до и после обработки ионизирующим излучением, %

Аминокислота	Доза облучения, кГр				
	0	3	9	10	12
Валин	140,16	139,27	138,33	138,02	136,18
Изолейцин	133,40	132,90	131,57	131,11	128,27
Лейцин	152,65	152,59	151,22	151,08	148,28
Лизин	157,00	156,70	155,76	155,56	151,69
Метионин+цистин	111,38	110,96	110,32	109,90	108,50
Треонин	107,72	107,32	106,84	106,72	104,90
Триптофан	132,38	132,08	131,48	131,05	129,40
Фенилаланин+тирозин	134,45	133,91	133,16	132,74	131,43
<i>Итого</i>	<i>136,84</i>	<i>136,42</i>	<i>135,47</i>	<i>135,19</i>	<i>132,88</i>

Результаты сравнительной оценки сбалансированности аминокислотного состава образцов охлажденного мяса косули до и после обработки ионизирующим излучением дозами 3; 9; 10 и 12 кГр, а также в процессе хранения представлены в таблицах 33, 34 и на рисунке 56.

БКП, характеризующий биологическую полноценность мяса, в образцах, обработанных дозой 10 кГр, выше на 0,11 п., чем в необработанных образцах.

Аминокислотные индексы в образцах, обработанных дозой до 10 кГр, имеют тенденцию к увеличению, а при воздействии дозой 12 кГр ниже по сравнению с необработанными образцами: НАК/ЗАК – на 0,0031 п. и НАК/∑АК – на 0,0010 п., что выше значений по данным ФАО/ВОЗ для «идеального» белка ($p \leq 0,05$).

Таблица 33 – Качественная оценка сбалансированности аминокислотного состава белков мяса косули до и после обработки ионизирующим излучением

Показатели оценки сбалансированности аминокислотного состава	Доза облучения кГр				
	0	3	9	10	12
Общая сумма аминокислот, мг/100 г продукта	21 636,15	21 550,26	21 415,99	21 352,13	21 027,09
Содержание незаменимых аминокислот, мг/100 г продукта	9 660,67	9 628,97	9 569,48	9 549,63	9 368,45
Содержание заменимых аминокислот, мг/100 г продукта	11 975,48	11 921,29	11 846,51	11 802,50	11 658,65
БКП	5,70	5,72	5,74	5,81	5,74
НАК/ЗАК	0,8067	0,8077	0,8078	0,8091	0,8036
НАК/ΣАК	0,4465	0,4468	0,4468	0,4472	0,4455
АКС, %	136,84	136,42	135,47	135,19	132,88
КРАС, %	25,92	25,90	25,50	25,30	24,93
БЦ, %	74,08	74,10	74,50	74,70	75,07
<i>KU</i>	0,7872	0,7867	0,7886	0,7894	0,7894
<i>KG</i>	0,0973	0,0976	0,0965	0,0960	0,0960

Установлено, что более низкие значения КРАС после обработки мяса косули ионизирующим излучением обеспечивают более высокие значения биологической ценности белка.

Таблица 34 – Качественная оценка сбалансированности аминокислотного состава белков необработанных и обработанных дозой 10 кГр образцов мяса косули в процессе хранения

Показатели оценки сбалансированности аминокислотного состава	Продолжительность хранения, сут					
	0	10	0	10	20	30
	Необработанные образцы		Образцы, обработанные дозой 10 кГр			
Общая сумма аминокислот, мг/100 г продукта	21 636,15	21 331,15	21 352,13	21 339,87	21 207,61	21 031,19
Содержание незаменимых аминокислот, мг/100 г продукта	9 660,67	9 524,51	9 549,63	9 542,52	9 482,04	9 403,19
Содержание заменимых аминокислот, мг/100 г продукта	11 975,48	11 806,64	11 802,50	11 797,35	11 725,57	11 628,00
БКП	5,70	5,70	5,81	5,81	5,81	5,81
НАК/ЗАК	0,8067	0,8067	0,8091	0,8089	0,8087	0,8087
НАК/ΣАК	0,4465	0,4465	0,4472	0,4472	0,4471	0,4471
АКС, %	136,84	135,16	135,19	135,15	134,48	133,53
КРАС, %	25,92	24,84	25,30	25,26	25,22	24,67
БЦ, %	74,08	75,16	74,70	74,74	74,78	75,33
<i>KU</i>	0,7872	0,7936	0,7894	0,7896	0,7893	0,7931
<i>KG</i>	0,0973	0,0936	0,0960	0,0959	0,0961	0,0939

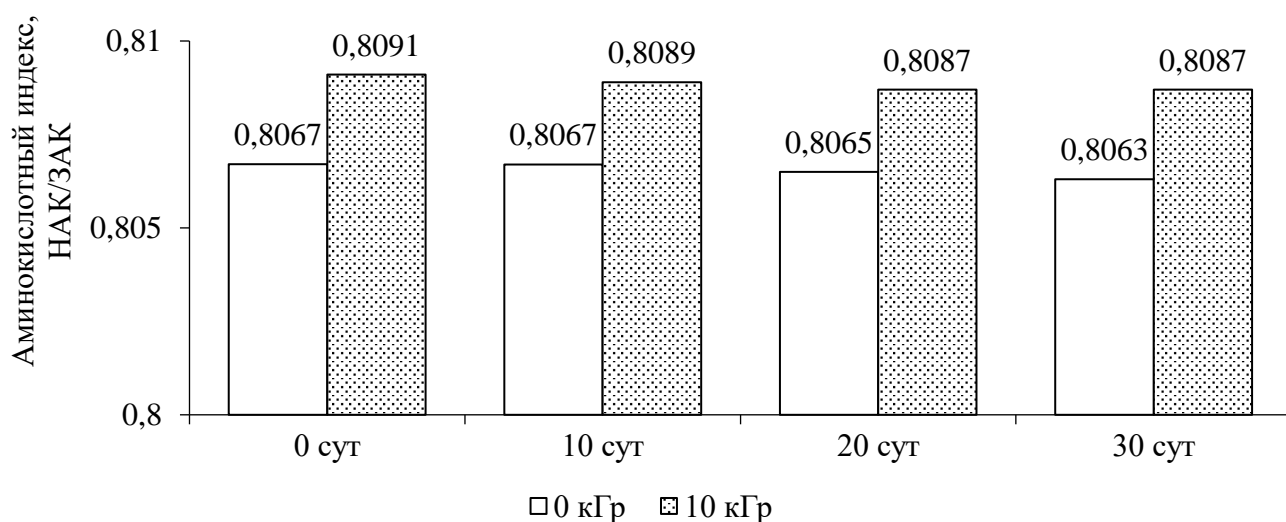


Рисунок 56 – Аминокислотный индекс белков мышечной ткани необработанных и обработанных дозой 10 кГр образцов мяса косули в процессе хранения

Коэффициент утилитарности аминокислотного состава в исследуемых образцах характеризует высокую степень сбалансированности незаменимых аминокислот по отношению к физиологической норме по «идеальному» (эталонному) белку. После обработки ионизирующим излучением коэффициент утилитарности увеличился на 0,0022 п. Коэффициент сопоставимой избыточности содержания незаменимых аминокислот в белковом компоненте образцов мяса косули уменьшается на 0,0013 п. и показывает, что после обработки меньшее количество незаменимых аминокислот не используется на анаболические цели из-за несбалансированности аминокислотного состава ($p \leq 0,05$) (см. таблицу 33).

Исследование качественных показателей аминокислотного состава проводилось по результатам органолептической оценки с учетом изменения показателей свежести: для необработанных образцов мяса косули – до 10 сут хранения; для обработанных дозой 10 кГр – до 30 сут хранения. При сравнительной оценке необработанных и обработанных образцов мяса косули через 10 сут хранения установлены сопоставимые значения по общему содержанию аминокислот, причем у обработанных образцов значения аминокислотных индексов (на 0,0023 и 0,0007 п.) и БКП (на 0,10 п.) были выше, чем у необработанных. Через 30 сут при сохранении высоких значений сбалансированности белка отмечается незначительное изменение ряда

показателей в обработанных образцах мяса косули: общая сумма аминокислот снижается на 1,50 %, в том числе незаменимых – на 1,53 %, что ведет к снижению АКС; при этом БЦ ниже на 0,63 %, а KU – на 0,0037 п. по сравнению с моментом постановки на опыт ($p \leq 0,05$) (см. таблицу 34).

В результате исследований установлено, что после обработки мяса косули ионизирующим излучением дозой до 10 кГр увеличивается значение аминокислотного индекса НАК/ЗАК по сравнению с необработанными образцами на протяжении всего периода хранения (см. рисунок 55).

Таким образом, обработка охлажденного мяса косули ионизирующим излучением дозой до 10 кГр позволяет обеспечить высокие значения сбалансированности аминокислотного состава и биологической ценности белка в течение 30 сут хранения, при этом белки мяса косули остаются полноценными. Лимитирующая аминокислота не установлена, наименьший скор выявлен по треонину. После обработки ионизирующим излучением качественные показатели (БКП, БЦ, KU) выше, чем в необработанных образцах мяса косули.

Исследование биологической ценности белков мяса птицы (цыплят-бройлеров)

После обработки ионизирующим излучением мяса птицы разными дозами установлено незначительное снижение общего количества аминокислот по сравнению с необработанными образцами: при дозе 3 кГр – на 0,37 %, в том числе незаменимых – на 0,20 %, заменимых – на 0,50 %; при дозе 9 кГр – на 0,58; 0,41 и 0,67 % соответственно; при дозе 10 кГр – на 2,12; 2,03 и 1,82 %; при дозе 12 кГр – на 3,12; 3,57 и 2,79 %, что согласуется с данными [14; 81; 82].

В образцах мяса птицы наибольшее изменение содержания аминокислот отмечается по гистидину (7,14 %), наименьшее – по триптофану, аспарагиновой кислоте, оксипролину и пролину ($p \leq 0,05$) (приложение Л, таблица Л.5). Белки мяса птицы являются сбалансированными по аминокислотному составу. Доминирующим по содержанию на 100 г продукта среди незаменимых аминокислот является лизин, среди заменимых – глутаминовая кислота.

Несмотря на снижение количества свободных незаменимых аминокислот в обработанных образцах мяса птицы по сравнению с необработанными, АКС во всех образцах превышает 100 %, что полностью покрывает суточную потребность в аминокислотах, при этом более высокое значение данного показателя имеют образцы, не подвергавшиеся воздействию ионизирующим излучением либо обработанные дозой 3 кГр. АКС собственно аминокислот показывает, что содержание незаменимых аминокислот в исследуемых образцах больше, чем в «идеальном» белке. Установлено, что лимитирующей аминокислотой является валин (таблица 35), что соотносится с рядом исследований по необлученной продукции [301], а также треонин в образцах, обработанных дозой 12 кГр.

Таблица 35 – Аминокислотный скор белков мяса птицы до и после обработки ионизирующим излучением, %

Аминокислота	Доза облучения, кГр				
	0	3	9	10	12
Валин	97,25	96,97	96,33	94,82	93,63
Изолейцин	125,57	125,15	124,47	122,15	119,28
Лейцин	115,33	114,94	114,17	112,15	110,67
Лизин	155,64	155,29	154,56	152,71	150,88
Метионин+цистин	106,25	105,58	104,84	102,77	101,51
Треонин	102,80	102,42	101,96	100,48	98,83
Триптофан	157,46	157,29	156,41	154,76	154,25
Фенилаланин+тирозин	124,07	123,59	122,75	120,11	118,34
<i>Итого</i>	<i>120,47</i>	<i>120,06</i>	<i>119,35</i>	<i>117,35</i>	<i>115,68</i>

Результаты сравнительной оценки сбалансированности аминокислотного состава мяса птицы до и после обработки ионизирующим излучением дозами 3; 9; 10 и 12 кГр, а также в процессе хранения представлены в таблицах 36, 37 и на рисунке 57.

БКП, характеризующий биологическую полноценность мяса, в образцах, обработанных дозами до 10 кГр, выше по сравнению с необработанными.

Аминокислотные индексы имеют тенденцию увеличения при обработке дозами до 9 кГр: НАК/ЗАК – на 0,0019 п. и НАК/∑АК – на 0,0006 п., что выше значений по данным ФАО/ВОЗ для «идеального» белка ($p \leq 0,05$).

Таблица 36 – Качественная оценка сбалансированности аминокислотного состава белков мяса птицы до и после обработки ионизирующим излучением

Показатели оценки сбалансированности аминокислотного состава	Доза облучения, кГр				
	0	3	9	10	12
Общая сумма аминокислот, мг/100 г продукта	19 784,36	19 710,33	19 672,17	19 407,48	19 168,61
Содержание незаменимых аминокислот, мг/100 г продукта	8 158,36	8 142,02	8 124,60	7 992,60	7 867,07
Содержание заменимых аминокислот, мг/100 г продукта	11 626,00	11 568,30	11 547,57	11 414,88	11 301,54
БКП	7,22	7,25	7,25	7,23	7,21
НАК/ЗАК	0,7017	0,7038	0,7036	0,7002	0,6961
НАК/∑АК	0,4124	0,4131	0,4130	0,4118	0,4104
АКС, %	120,47	120,06	119,35	117,35	115,68
КРАС, %	25,79	25,68	25,61	25,18	24,80
БЦ, %	74,21	74,32	74,39	74,82	75,20
<i>KU</i>	0,807	0,808	0,807	0,808	0,809
<i>KG</i>	0,091	0,088	0,087	0,086	0,086

Установлено, что более низкие значения КРАС после обработки ионизирующим излучением мяса птицы обеспечивают более высокие значения биологической ценности белка.

Таблица 37 – Качественная оценка сбалансированности аминокислотного состава белков необработанных и обработанных дозой 9 кГр образцов охлажденного мяса птицы в процессе хранения

Показатели оценки сбалансированности аминокислотного состава	Продолжительность хранения, сут					
	0	10	0	10	20	30
	Необработанные образцы		Образцы, обработанные дозой 10 кГр			
Общая сумма аминокислот, мг/100 г продукта	19 784,36	19 596,03	19 672,17	19 626,26	19 452,66	19 175,64
Содержание незаменимых аминокислот, мг/100 г продукта	8 158,36	8 027,62	8 124,60	8 107,12	8 035,69	7 920,86
Содержание заменимых аминокислот, мг/100 г продукта	11 626,00	11 568,40	11 547,57	11 519,14	11 416,97	11 254,78
БКП	7,22	7,22	7,25	7,25	7,25	7,23
НАК/ЗАК	0,7017	0,6939	0,7036	0,7038	0,7038	0,7038
НАК/∑АК	0,4124	0,4097	0,4130	0,4131	0,4131	0,4131
АКС, %	120,47	118,80	119,35	119,10	118,11	116,65
КРАС, %	25,79	26,40	25,61	25,56	24,96	24,18
БЦ, %	74,21	73,60	74,39	74,44	75,04	75,82
<i>KU</i>	0,807	0,801	0,807	0,807	0,811	0,816
<i>KG</i>	0,086	0,089	0,086	0,086	0,084	0,081

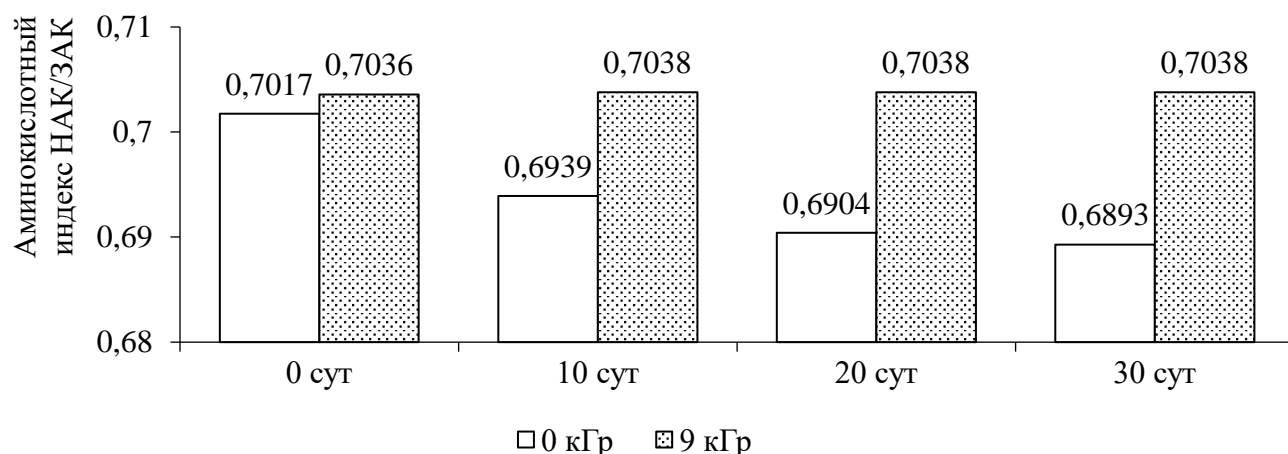


Рисунок 57 – Аминокислотный индекс белков мышечной ткани необработанных и обработанных дозой 9 кГр образцов мяса птицы в процессе хранения

Коэффициент утилитарности аминокислотного состава в обработанных ионизирующим излучением образцах характеризует высокую степень сбалансированности незаменимых аминокислот по отношению к физиологической норме по «идеальному» (эталонному) белку. После обработки коэффициент утилитарности увеличился на 0,002 п.

Коэффициент сопоставимой избыточности содержания незаменимых аминокислот в белковом компоненте образцов мяса птицы уменьшается на 0,005 п. и показывает, что после обработки меньшее количество незаменимых аминокислот не используется на анаболические цели из-за несбалансированности аминокислотного состава ($p \leq 0,05$) (см. таблицу 36).

Исследование качественных показателей аминокислотного состава проводилось по результатам органолептической оценки и показателям свежести: для необработанных образцов мяса птицы – до 10 сут хранения; для обработанных дозой 9 кГр – до 30 сут. Несмотря на более низкое содержание аминокислот, при сравнительной оценке через 10 сут хранения образцы, обработанные дозой 9 кГр, имеют более высокие значения БКП – на 0,03 п., БЦ – на 0,23 %, аминокислотного индекса и коэффициента утилитарности, чем необработанные на аналогичном сроке хранения. Через 30 сут при сохранении высоких показателей сбалансированности белка отмечается незначительное изменение ряда показателей в обработанных образцах

мяса птицы: общая сумма аминокислот снижается на 2,52 %, в том числе незаменимых – на 2,51 %, что ведет к незначительному снижению АКС (на 2,7 %) и БКП (на 0,02 п.), при этом БЦ увеличивается на 1,43 %, а коэффициент утилитарности аминокислотного состава – на 0,009 п. по сравнению с моментом постановки на опыт ($p \leq 0,05$) (см. таблицу 37).

Установлено, что обработка мяса птицы ионизирующим излучением дозой до 9 кГр приводит к улучшению аминокислотного индекса НАК/ЗАК по сравнению с необработанными образцами при постановке на опыт (см. рисунок 56).

Таким образом, обработка охлажденного мяса птицы дозой до 9 кГр позволяет обеспечить высокие значения сбалансированности аминокислотного состава и биологической ценности белка на протяжении всего периода хранения до 30 сут. Лимитирующая аминокислота – валин. После обработки ионизирующим излучением качественные показатели (БКП, БЦ, аминокислотный индекс, KU) выше, чем в необработанных образцах.

Исследование физико-химических показателей мясного сырья и мясных полуфабрикатов

При исследовании такого важного физико-химического показателя для оценки свежести мясного сырья, как концентрация водородных ионов (рН), получены следующие результаты в момент постановки на эксперимент и в процессе хранения (таблица 38).

Все необработанные образцы через 20 сут хранения относятся к категории мясного сырья сомнительной свежести, а через 30 и 39 сут хранения отнесены к категории несвежего.

Образцы шейки свиной и мяса птицы, обработанные дозами 3; 9; 10 и 12 кГр, через 39 сут хранения также относятся к категории несвежего мясного сырья.

Полученные результаты согласуются с органолептической оценкой мясного сырья и мясных полуфабрикатов.

Таблица 38 – Значения рН необработанных и обработанных разными дозами ионизирующего излучения образцов мясного сырья в процессе хранения

Вид мясного сырья	Доза облучения, кГр	Продолжительность хранения, сут				
		0	10	20	30	39
Говядина	0	6,0	6,0	6,6	6,9	7,3
	3	6,0	6,0	6,0	6,0	6,1
	9	6,0	6,0	5,9	6,0	6,1
	10	6,0	5,9	5,9	5,9	5,9
	12	5,9	5,9	6,0	6,1	6,2
Свинина	0	5,8	5,8	6,4	6,7	7,2
	3	5,8	5,8	6,0	6,0	6,1
	9	5,7	5,7	5,7	5,7	5,9
	10	5,7	5,7	5,7	5,7	6,0
	12	5,7	5,8	5,8	5,9	6,2
Шейка свинья	0	5,8	5,8	6,4	6,7	7,1
	3	5,8	5,8	6,1	6,2	7,0
	8	5,8	5,8	5,9	5,9	7,0
	9	5,8	5,9	5,9	5,9	7,0
	12	5,8	5,9	6,0	6,1	7,0
Мясо косули	0	5,9	5,9	6,6	6,8	7,2
	3	5,9	5,9	5,9	5,9	6,0
	9	5,9	5,9	5,9	5,9	6,0
	10	5,9	5,9	5,9	5,8	5,9
	12	5,8	5,8	5,8	5,8	6,0
Мясо птицы	0	6,1	6,1	6,5	6,8	7,3
	3	6,0	6,1	6,1	6,1	7,1
	9	6,0	6,0	6,0	6,0	7,0
	10	5,9	5,9	5,9	6,2	7,0
	12	5,9	6,0	6,0	6,2	7,0

Примечание – Характеристику свежести мяса отражает цвет ячейки: зеленый – мясо свежее; оранжевый – мясо сомнительной свежести; красный – мясо несвежее.

По результатам исследования не установлено влияние обработки ионизирующим излучением на изменение рН мясного сырья, что согласуется с данными [337].

Содержание воды является фактором, определяющим структуру пищевого продукта. Влагосвязывающая способность (ВСС) мяса за счет связывания с основными нутриентами физическими и химическими связями формирует качество мяса при его технологической и тепловой обработке.

Как следует из таблицы 39, после обработки ионизирующим излучением значение ВСС увеличивается во всех видах мясного сырья.

Таблица 39 – Значения влагосвязывающей способности образцов мясного сырья до и после обработки ионизирующим излучением, %

Доза облучения, кГр	Говядина	Свинина	Мясо косули	Мясо птицы	Доза облучения, кГр	Шейка свиная охлажденная
0	45,5	32,4	49,8	43,2	0	33,4
3	46,1	33,5	50,5	44,1	3	36,1
9	47,3	36,2	52,6	45,5	8	38,4
10	47,9	36,4	52,8	45,6	9	39,4
12	53,4	37,3	53,4	47,1	12	40,3

Установлено, что через 39 сут хранения ВСС незначительно снижается: для говядины, свинины, мяса косули и шейки свиной – на 0,1–0,2 %, для мяса птицы – на 0,3–0,4 %.

Таким образом, влагосвязывающая способность после обработки дозой 12 кГр увеличивается в говядине на 7,9 %, свинине – на 4,9 %, шейке свиной – на 6,9 %, мясе косули – на 3,6 %, мясе птицы – на 3,9 % по сравнению с необработанными образцами.

*Исследование жирнокислотного состава мясного сырья
и мясных полуфабрикатов*

Одним из важнейших факторов, влияющих на качество мяса, является количество и состав липидов [15; 24; 365]. Жиры – ценный источник энергии. Сбалансированность жирнокислотного состава обуславливает пищевую и биологическую ценность мяса. Насыщенные (НЖК), мононенасыщенные (МНЖК) и полиненасыщенные (ПНЖК) жирные кислоты являются основными структурными компонентами клеточных мембран. ПНЖК относятся к незаменимым компонентам пищи по содержанию линолевой (омега-6) и альфа-линоленовой (омега-3) кислот, не синтезируемых организмом человека. ПНЖК важны для нормального развития и функционирования органов зрения, нервной и сердечно-сосудистой систем человека [22; 523]. Соотношение насыщенных и ненасыщенных жирных кислот

в жировой ткани и мясе имеет решающее значение с точки зрения пищевой ценности: с увеличением массовой доли последних пищевая ценность имеет тенденцию к ее повышению [60].

В процессе хранения и технологической переработки мяса под влиянием физико-химических факторов происходит изменение жирнокислотного состава. Скорость окисления ненасыщенных жирных кислот определяется количеством двойных связей. Так, скорость окисления олеиновой кислоты в 11 раз, линолевой – в 114, линоленовой – в 170, арахидоновой – в 200 раз выше, чем стеариновой кислоты. Известно, что ПНЖК претерпевают изменения в процессе тепловой обработки. Олеиновая кислота может редуцироваться, превращаясь в стеариновую, а последняя подвергается β -окислению. Одновременно с этим ряд авторов отмечает, что в мясе окислительные изменения липидов незначительны за счет присутствия белков и продуктов взаимодействия белков и углеводов, которые обладают антиокислительным действием [359; 394].

Жирнокислотный состав мясного сырья зависит от вида сельскохозяйственных животных и птицы. Жир говядины и косули является тугоплавким, температура плавления составляет (43 ± 1) °С, температура плавления жира свинины (32 ± 1) °С, жир птицы плавится при температуре (28 ± 1) °С. Соотношение между предельными и непредельными жирными кислотами определяет консистенцию жира.

Установлено, что говяжий жир богат насыщенными жирными кислотами (до 6,0 %), в том числе пальмитиновой $C_{16:0}$ – 3,7 % и стеариновой $C_{18:0}$ – 1,8 %; из МНЖК (6,4 %) преобладает олеиновая $C_{18:1}$ (омега-9) – до 5,6 %; ПНЖК (0,6 %) представлены в большей степени линоленовой $C_{18:3}$ (омега-3) – до 0,17 % и линолевой кислотой $C_{18:2}$ (омега-6) – 0,38 %. Холестерин – до 80 мг. Соотношение ПНЖК к НЖК составляет 0,10–0,11.

Жир, полученный из мяса косули, содержит до 1,0 % НЖК (в том числе пальмитиновую – 0,44 % и стеариновую – 0,51 %), 0,68 % МНЖК (преобладает олеиновая – до 0,59 %), 0,51 % ПНЖК (более всего линолевой – 0,31 %, также есть следы линоленовой – до 0,07 %). Холестерин – до 85 мг. Соотношение ПНЖК к НЖК составляет 0,47–0,48.

Свиной жир отличается мажущей консистенцией. Он содержит до 13,8 % МНЖК (в основном олеиновой – до 11,9 % и пальмитолеиновой $C_{16:1}$ – до 1,2 %), 3,6 % ПНЖК (больше всего линолевой – 3,34 %, меньше всего линоленовой – 0,23 %), 11,8 % НЖК (преобладают пальмитиновая – 7,5 % и стеариновая – 3,8 %). Холестерин – до 70 мг. Соотношение ПНЖК к НЖК составляет 0,28:0,29.

В шейке свиной, упакованной с применением МГС, жир отличается мягкой консистенцией. Он содержит до 15,1 % МНЖК (в основном олеиновой – до 13,7 % и пальмитолеиновой – до 1,1 %), 3,5 % ПНЖК (более всего линолевой – 3,4 %, а линоленовой лишь 0,28 %); 13,3 % НЖК (преобладают пальмитиновая – 6,9 % и стеариновая – 3,4 %). Холестерин – до 71 мг. Соотношение ПНЖК к НЖК составляет 0,27–0,28.

В жире птицы содержится 4,1 % НЖК (в том числе пальмитиновой – 2,8 % и стеариновой – 1,0 %), 2,5 % ПНЖК (линолевой – 2,3 %, линоленовой – 0,18 %), 6,7 % МНЖК (олеиновой – 5,2 % и гадолеиновой $C_{20:1}$ – 0,22 %). Соотношение ПНЖК к НЖК составляет 0,61–0,63.

Наиболее высокие количественные показатели ПНЖК к НЖК выявлены в мясе птицы, свинине, шейке свиной, говядине и мясе косули (по мере убывания). В процессе хранения происходит уменьшение содержания поли- и мононенасыщенных жирных кислот.

Так, в шейке свиной, упакованной с применением МГС, содержание МНЖК в образцах, не подвергавшихся воздействию ионизирующего излучения, с 47,1 % при постановке на опыт снижается до 46,13 % через 10 сут хранения (на 0,97 %); в обработанных дозой 8 кГр образцах через 10; 20 и 30 сут – на 0,13; 0,61 и 0,69 % соответственно; в обработанных дозой 12 кГр – на 0,30; 1,00 и 1,91 % соответственно при уменьшении содержания олеиновой кислоты, которая составляет до 95 % от общего количества МНЖК (рисунок 58).

В процессе хранения шейки свиной снижается содержание ПНЖК за счет уменьшения содержания линолевой кислоты (ее доля в ПНЖК составляет до 90 %).

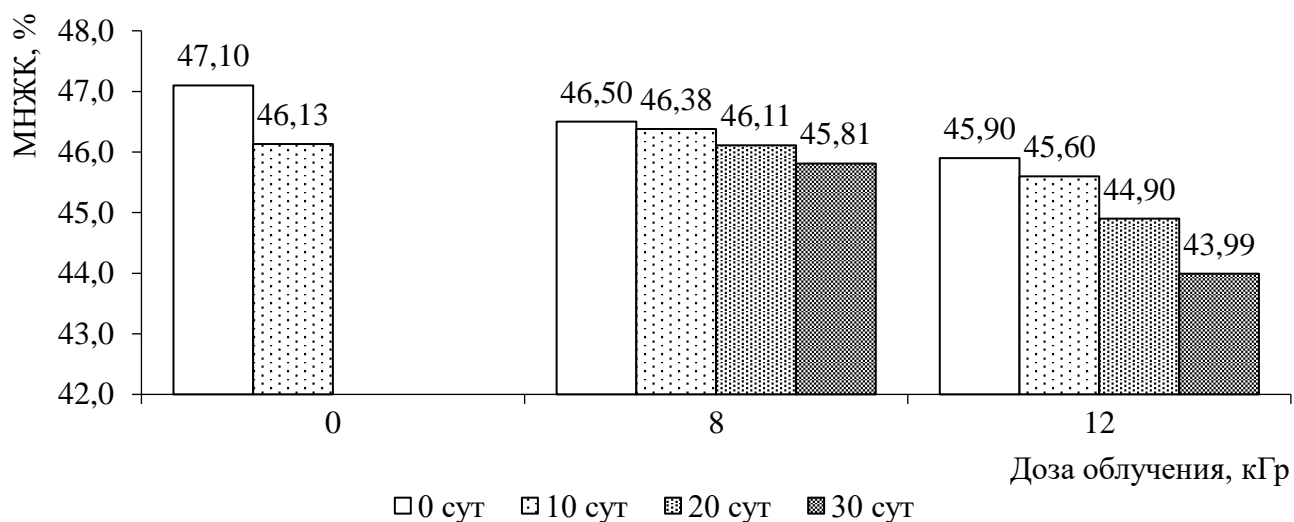


Рисунок 58 – Содержание МНЖК в необработанных и обработанных разными дозами ионизирующего излучения образцах шейки свиной, упакованной с применением МГС, в процессе хранения, % к общему числу

Через 10 сут хранения содержание ПНЖК в необработанных образцах снижается на 0,39 %; в обработанных дозой 8 кГр образцах через 10; 20 и 30 сут хранения – на 0,09; 0,39 и 0,68 % соответственно; в обработанных дозой 12 кГр – на 0,24; 0,50 и 0,82 % соответственно (рисунок 59).

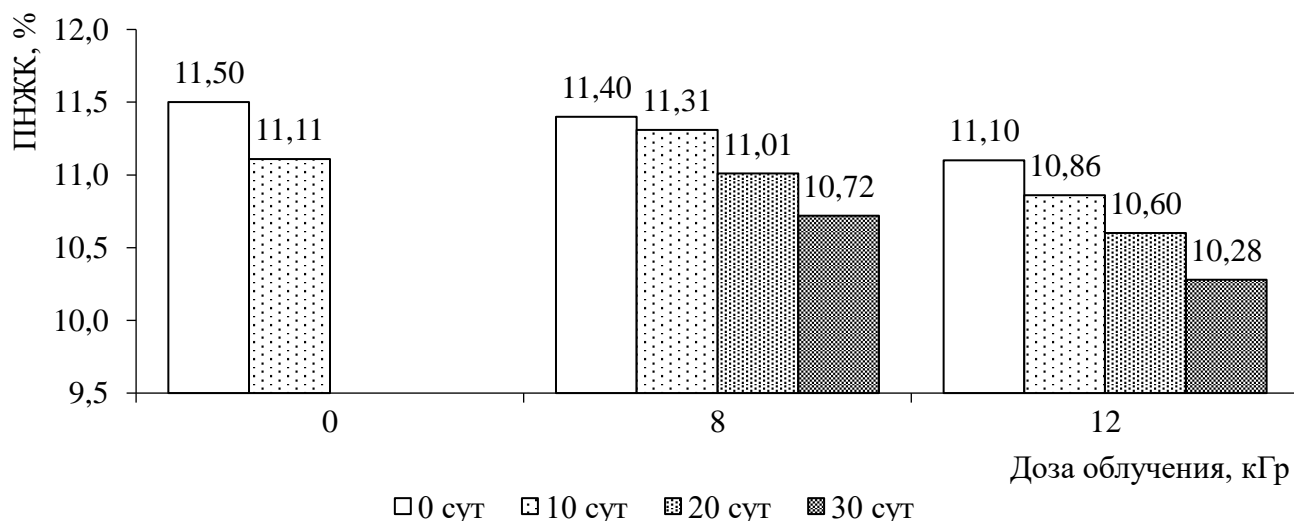


Рисунок 59 – Содержание ПНЖК в необработанных и обработанных разными дозами ионизирующего излучения образцах шейки свиной, упакованной с применением МГС, % к общему количеству

Таким образом, в процессе исследования выявлено, что мясное сырье является ценным источником ПНЖК и МНЖК. В ходе обработки шейки свиной ионизирующим излучением содержание ПНЖК и МНЖК снижается, как следствие, уменьшается биологическая ценность свиного жира.

При этом образцы шейки свиной, обработанные дозой 8 кГр, через 30 сут хранения имеют более высокие значения соотношения ПНЖК к НЖК, чем образцы, обработанные дозой 12 кГр, но более низкие по сравнению с образцами, обработанными дозой 8 кГр, в которых соотношение ПНЖК к НЖК выше, чем в необработанных образцах на 20-е и на 30-е сутки хранения.

4.1.3 Исследование показателей свежести мясного сырья и мясных полуфабрикатов

Важными показателями доброкачественности мясного сырья являются аминокислотный азот (ААА), кислотное и перекисное числа, содержание летучих жирных кислот.

Количество аминокислотного азота в результате воздействия деаминазы на белки охлажденной говядины является показателем свежести мясного сырья. На рисунке 60 представлено содержание ААА в образцах говядины в процессе хранения. Так, при норме для свежего мяса 80 мг/100 г значение ААА в необработанных образцах составило 18,7; 68,6; 81,3 и 129,7 мг/100 г после 10; 20; 30 и 39 сут хранения соответственно.

Полученные результаты свидетельствуют о сохранении белкового компонента в говядине, обработанной дозой 10 кГр, при хранении до 30 сут, что согласуется с товароведной оценкой показателей свежести обработанной ионизирующим излучением охлажденной говядины.

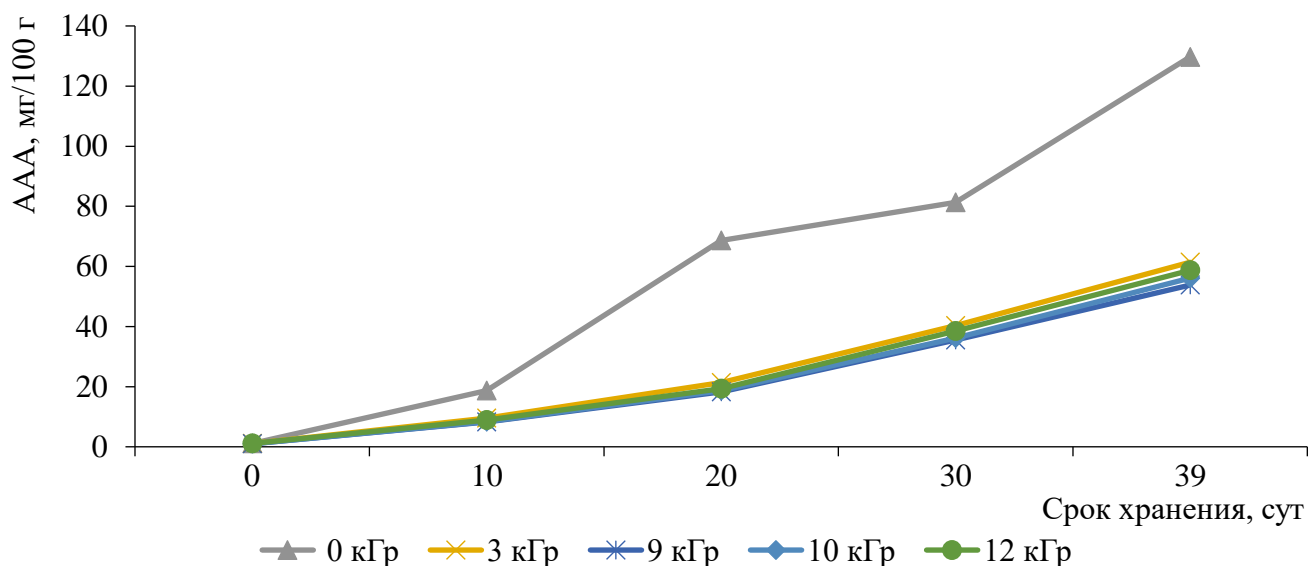


Рисунок 60 – Содержание ААА в необработанных и обработанных разными дозами ионизирующего излучения образцах говядины в процессе хранения, мг/100 г

По кислотному (КЧ) и перекисному (ПЧ) числам определяют скорость гидролитических и окислительных процессов липидов. На рисунке 61 представлена динамика КЧ липидов образцов охлажденной говядины в процессе хранения.

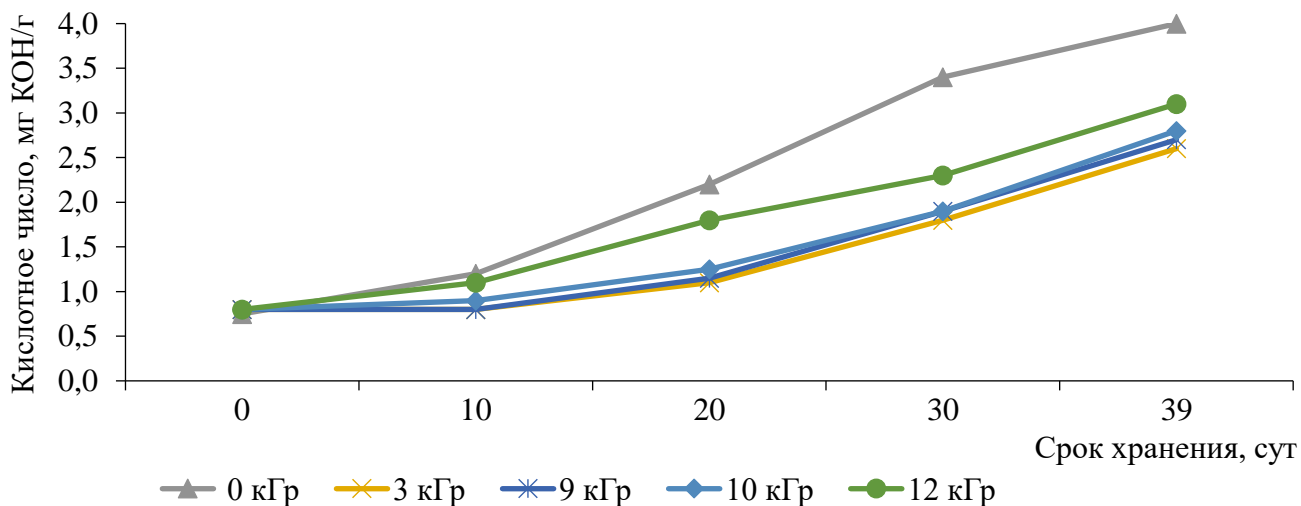


Рисунок 61 – Динамика кислотного числа жира в процессе хранения необработанных и обработанных разными дозами ионизирующего излучения образцов говядины, мг КОН/г

Кислотное число в образцах говядины, обработанных дозами 3; 9; 10 и 12 кГр, через 39 сут хранения составляет 2,6; 2,7; 2,8 и 3,1 мг КОН/г при норме для

свежей говядины не более 4,0 мг КОН/г, что ниже КЧ необработанных образцов (4,0 мг КОН) на 53,8; 48,1; 42,9 и 29,0 % соответственно с высокой степенью достоверности 0,98–0,99 ($p \leq 0,05$).

Перекисное число жира в образцах говядины, обработанных дозами 3; 9; 10 и 12 кГр, после 39 сут хранения составляет 4,4; 5,0; 5,4 и 5,9 ммоль активного кислорода/кг жира при норме не более 10,0, что ниже ПЧ необработанных образцов (8,9 ммоль) в 2,0; 1,78; 1,65 и 1,51 раза соответственно ($p \leq 0,05$) (рисунок 62).

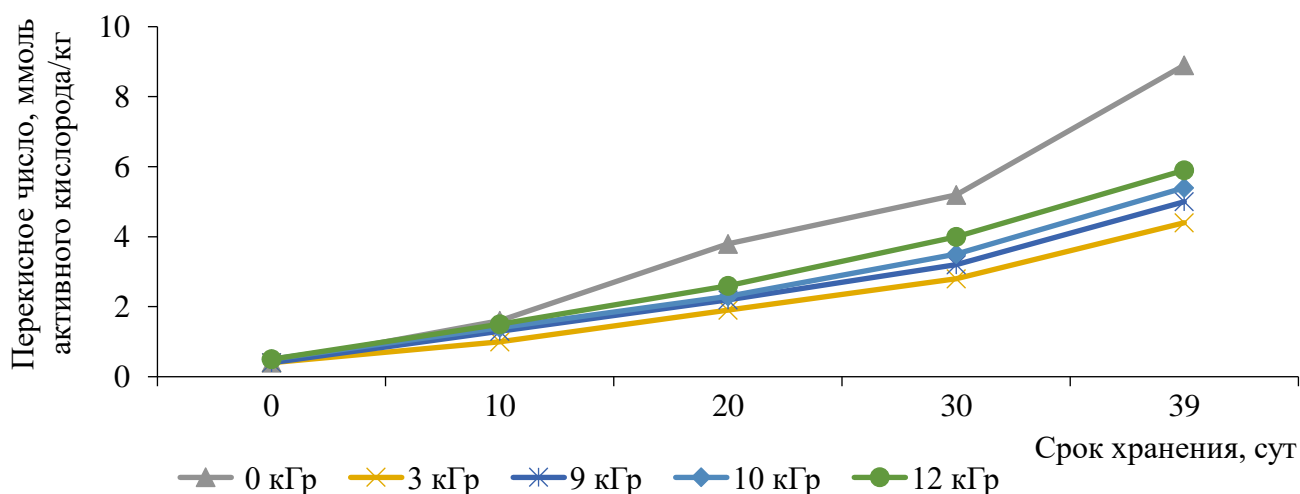


Рисунок 62 – Динамика перекисного числа жира в процессе хранения необработанных и обработанных разными дозами ионизирующего излучения образцов говядины, ммоль активного кислорода/кг жира

С увеличением дозы ионизирующего излучения в охлажденной говядине увеличиваются значения КЧ и ПЧ. Так, перекисное число образцов говядины, обработанных дозой 12 кГр, через 10; 20; 30 и 39 сут хранения выше, чем при обработке дозой 3 кГр образцах, на 50,0; 36,8; 42,9 и 34,1 % соответственно; кислотное число соответственно выше на 57,1; 63,6; 27,8 и 19,2 %. На основании проведенных исследований установлено, что обработки ионизирующим излучением охлажденной говядины (при обеспечении кислотного и перекисного числа в норме при обработке дозой до 12 кГр на протяжении всего периода хранения до 39 сут) целесообразно проводить дозами до 10 кГр, что позволяет обеспечить высокое качество говядины в процессе хранения до 30 сут.

На рисунке 63 представлена динамика содержания летучих жирных кислот в процессе хранения образцов говядины, обработанных разными дозами ионизирующего излучения.

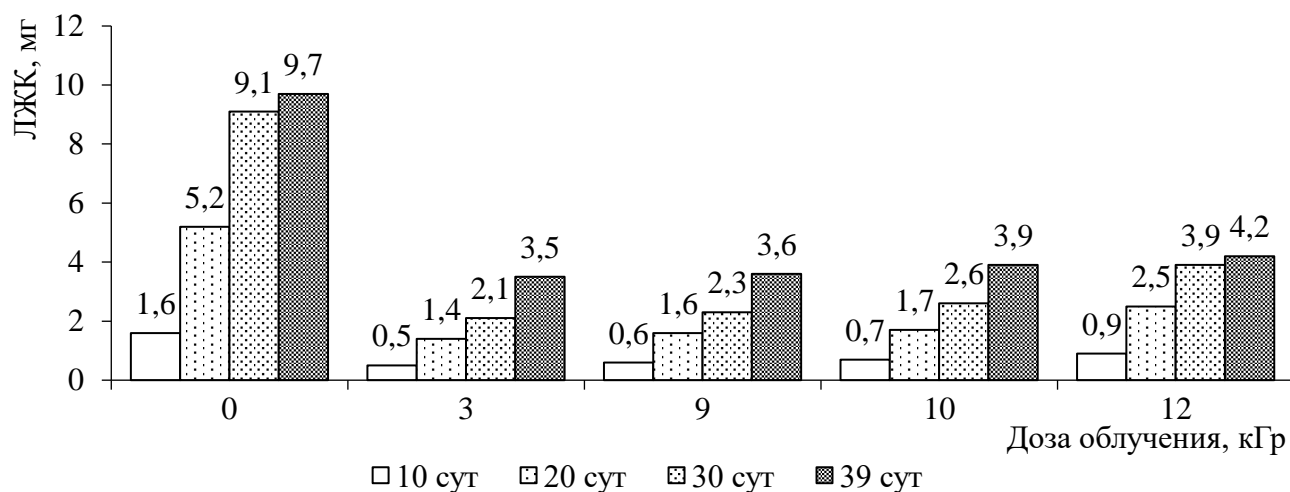


Рисунок 63 – Динамика содержания летучих жирных кислот в образцах говядины, необработанных и обработанных разными дозами ионизирующего излучения, мг КОН на 25 г мяса

Значения ЛЖК в образцах говядины, обработанных дозой до 10 кГр, через 30 сут хранения соответствуют показателям свежего мяса. Образцы, обработанные дозой 12 кГр, через 39 сут хранения относятся к мясу сомнительной свежести с содержанием ЛЖК 4,2 мг. В необработанных образцах через 20 сут хранения содержание ЛЖК составляет 5,2 мг, что соответствует мясу сомнительной свежести; после 30 и 39 сут – 9,1 и 9,7 мг, что соответствует несвежему мясу.

Установлено, что значение ААА в образцах свинины при обработке дозой 3 кГр, через 10; 20; 30 и 39 сут хранения составляло 20,9; 29,1; 41,9 и 56,9 мг/100 г соответственно, при дозе 9 кГр – 18,3; 24,1; 35,1 и 48,7 мг/100 г, при 10 кГр – 18,9; 25,1; 37,1 и 49,7 мг/100 г, при 12 кГр – 19,8; 26,3; 38,2 и 52,4 мг/100 г. Количество ААА в свинине, не подвергавшейся воздействию ионизирующего излучения, при норме для свежего мяса 80 мг/100 г составляло 21,6; 69,4; 111,6 и 133,7 мг/100 г на аналогичных сроках хранения (приложение М, рисунок М.1). Полученные результаты свидетельствуют о сохранении белкового компонента в свинине, обрабо-

танной дозой 9 кГр, в течение 30 сут хранения, что согласуется с результатами товароведной оценки показателей свежести.

Кислотное число в образцах свинины, обработанных дозами 3; 9; 10 и 12 кГр, через 39 сут хранения составляет 2,2; 2,6; 3,1 и 3,7 мг КОН/г при норме не более 4,0 мг КОН/г, что ниже значения КЧ необработанных образцов (7,5 мг КОН/г) в 3,4; 2,9; 2,4 и 2,0 раза соответственно с высокой степенью достоверности 0,97–0,99 ($p \leq 0,05$) (приложение М, рисунок М.2).

Переокисное число жира в образцах свинины, обработанных дозами 3; 9; 10 и 12 кГр, через 39 сут хранения составляет 5,01; 6,02; 6,20 и 6,31 ммоль активного кислорода/кг жира при норме не более 10,0, что ниже ПЧ необработанных образцов (13,41 ммоль активного кислорода/кг жира) в 2,7; 2,2; 2,2 и 2,1 раза соответственно ($p \leq 0,05$) (приложение М, рисунок М.3).

С увеличением дозы облучения в охлажденной свинине увеличиваются значения показателей КЧ и ПЧ. Так, ПЧ образцов, обработанных дозой 12 кГр, через 10; 20; 30 и 39 сут хранения выше, чем при обработке дозой 3 кГр на 12,9; 40,0; 48,3 и 25,9 % соответственно; КЧ выше на 1,7; 39,7; 40,4 и 66,8 % соответственно. Установлено, что обработка ионизирующим излучением охлажденной свинины (при обеспечении КЧ и ПЧ в норме при обработке дозой до 12 кГр на протяжении всего периода хранения до 39 сут) целесообразно проводить дозами до 9 кГр, что позволяет обеспечить высокое качество в течение периода хранения до 30 сут.

На рисунке М.4 (приложение М) представлена динамика содержания ЛЖК в процессе хранения образцов свинины, обработанных разными дозами ионизирующего излучения. Количество ЛЖК в образцах, обработанных дозой до 10 кГр, через 30 сут хранения соответствует показателям свежего мяса. Образцы, обработанные дозой 12 кГр, на таком же сроке хранения относятся к мясу сомнительной свежести с содержанием ЛЖК более 4 мг. В необработанных образцах после 20 сут хранения содержание ЛЖК равно 5,8 мг, что соответствует мясу сомнительной свежести; после 30 и 39 сут – 9,3 и 10,1 мг, что соответствует несвежему мясу.

Установлено, что содержание ААА в обработанных дозой 8 кГр образцах шейки свиной, упакованной с применением МГС, через 10; 20; 30 и 39 сут хранения

составляло 16,3; 22,3; 32,3 и 47,3 мг/100 г соответственно; при дозе 9 кГр – 18,5; 23,8; 34,3 и 50,6 мг/100 г; при 12 кГр – 18,6; 25,8; 36,8 и 55,9 мг/100 г. ААА в необработанных образцах при норме для свежего мяса 80 мг/100 г составлял 19,3; 48,5; 95,3 и 129,4 мг/100 г на аналогичных сроках хранения (приложение М, рисунок М.5). Полученные результаты свидетельствуют о сохранении белкового компонента в шейке свиной, обработанной дозой до 8 кГр, при хранении до 30 сут, что согласуется с результатами органолептической оценки.

В процессе хранения обработанных образцов шейки свиной наблюдаются гидролитические изменения жира, что подтверждается увеличением кислотного числа. Наиболее быстро КЧ увеличивается в необработанных образцах. КЧ в образцах, обработанных дозами 8; 9 и 12 кГр, через 39 сут хранения составляет 2,75; 3,08 и 3,55 мг КОН/г при норме не более 4,0 мг КОН/г, что ниже значения КЧ необработанных образцов (5,90 мг КОН) в 2,1; 1,9 и 1,8 раза соответственно ($p \leq 0,05$) (приложение М, рисунок М.6). Следовательно, увеличение дозы облучения до 12 кГр способствует большему разрушению эфирных связей в триглицеридах.

Динамика изменения перекисного числа показывает, что к 39-м суткам хранения наибольшие изменения отмечаются в необработанных образцах шейки свиной. ПЧ в образцах, обработанных дозами 8; 9 и 12 кГр, через 39 сут хранения составляет 5,58; 5,89 и 6,05 ммоль активного кислорода/кг жира при норме не более 10,0, что ниже значения ПЧ необработанных образцов (13,25 ммоль) в 2,37; 2,24 и 2,19 раза соответственно ($p \leq 0,05$) (приложение М, рисунок М.7).

Значения КЧ и ПЧ растут с увеличением дозы облучения охлажденной шейки свиной. Так, ПЧ образцов, обработанных дозой 12 кГр, через 10; 20; 30 и 39 сут хранения выше, чем образцов, обработанных дозой 8 кГр, на 8,8; 22,0 и 44,8 % соответственно; КЧ выше на 18,8; 14,6; 16,1 и 21,8 %. Установлено, что обработка ионизирующим излучением охлажденной шейки свиной (при обеспечении КЧ и ПЧ в норме после обработки дозой до 12 кГр на всем периоде хранения до 39 сут) целесообразно проводить дозами до 8 кГр, что позволяет обеспечить высокое качество при хранении до 30 сут.

На рисунке М.8 (приложение М) представлена динамика содержания ЛЖК в процессе хранения образцов охлажденной шейки свиной, упакованных с применением МГС, обработанных разными дозами ионизирующего излучения. Через 10; 20; 30 и 39 сут хранения в образцах, обработанных дозой 8 кГр, значения ЛЖК составили соответственно 0,6; 1,5; 2,2 и 3,8 мг, что ниже контроля на 60,0; 73,2; 76,1 и 157,9 %. В образцах, обработанных дозой 9 кГр, значения ЛЖК на таких же сроках хранения ниже контроля на 52,0; 62,3; 67,2 и 51,2 %, а в обработанных дозой 12 кГр образцах – ниже контроля на 40,0; 46,4; 56,5 и 46,9 % соответственно.

Установлено, что содержание ААА в обработанных дозой 3 кГр образцах мяса косули через 10; 20; 30 и 39 сут хранения составляет 9,2; 19,9; 39,7 и 59,9 мг/100 г соответственно, при дозе 9 кГр – 8,1; 18,2; 34,7 и 52,8 мг/100 г, при 10 кГр – 8,3; 18,3; 35,8 и 54,9 мг/100 г, при 12 кГр – 8,7; 18,9; 37,9 и 57,9 мг/100 г. ААА необработанных образцов при норме для свежего мяса 80 мг/100 г составляет 11,7; 54,1; 77,9 и 126,1 мг/100 г на аналогичных сроках хранения (приложение М, рисунок М.9). Полученные результаты свидетельствуют о сохранении белкового компонента в мясе косули, обработанном дозой 10 кГр, через 30 сут хранения, что согласуется с результатами товароведной оценки.

КЧ в образцах мяса косули, обработанных дозами 3; 9; 10 и 12 кГр, через 39 сут хранения составляет 2,2; 2,4; 2,5 и 2,6 мг КОН/г при норме не более 4,0 мг КОН/г, что ниже значений необработанных образцов (3,8 мг КОН) соответственно на 72,7; 58,3; 52,0 и 46,2 % с высокой степенью достоверности 0,97–0,99 ($p \leq 0,05$) (приложение М, рисунок М.10).

ПЧ в образцах мяса косули, обработанных такими же дозами, через 39 сут хранения составляет 3,8; 4,2; 4,6 и 5,1 ммоль активного кислорода/кг жира при норме не более 10,0, что ниже значений необработанных образцов (8,2 ммоль) в 2,16; 1,95; 1,78 и 1,61 раза соответственно ($p \leq 0,05$) (приложение М, рисунок М.11).

С увеличением дозы облучения в охлажденном мясе косули увеличиваются значения КЧ и ПЧ. Так, через 10; 20; 30 и 39 сут хранения ПЧ обработанных дозой 12 кГр образцов выше, чем при обработке дозой 3 кГр, на 87,5; 56,3; 52,0 и 34,2 % соответственно; КЧ выше на 50,0; 40,0; 25,0 и 18,2 %. На основании проведенных

исследований установлено, что обработка охлажденного мяса косули дозами ионизирующего излучения до 10 кГр обеспечивает высокое качество в процессе хранения до 30 сут, что согласуется с показателями органолептической оценки.

На рисунке М.12 (приложение М) представлена динамика содержания ЛЖК в процессе хранения образцов мяса косули промышленного забоя, обработанных разными дозами. Значения ЛЖК в образцах, обработанных дозами до 12 кГр, через 39 сут хранения соответствуют показателям свежего мяса. В необработанных образцах через 20 сут хранения содержание ЛЖК составляет 5,1 мг, что соответствует мясу сомнительной свежести; через 30 и 39 сут – 9,1 и 9,5 мг, что соответствует несвежему мясу.

Установлено, что содержание ААА в обработанном дозой 3 кГр мясе птицы через 10; 20; 30 и 39 сут хранения составляло 8,9; 25,9; 48,9 и 60,5 мг/100 г соответственно, при дозе 9 кГр – 7,6; 20,1; 32,8 и 46,5 мг/100 г, при 10 кГр – 7,9; 22,5; 35,1 и 49,8 мг/100 г, при 12 кГр – 8,2; 24,7; 41,6 и 55,8 мг/100 г. Количество ААА в необработанном мясе птицы при норме для свежего мяса 80 мг/100 г составляло 19,3; 64,2; 89,2 и 125,6 мг/100 г на аналогичных сроках хранения (приложение М, рисунок М.13). Полученные результаты свидетельствуют о сохранении белкового компонента в мясе птицы, обработанном дозой 9 кГр, при хранении до 30 сут, что согласуется с товароведной оценкой показателей свежести.

КЧ в образцах мяса птицы, обработанных дозами 3; 9; 10 и 12 кГр, через 39 сут хранения равно соответственно 2,9; 3,0; 3,2 и 3,7 мг КОН/г при норме не более 4,0 мг КОН/г, что ниже значений необработанных образцов – 6,2 мг КОН ($p \leq 0,05$) (приложение М, рисунок М.14). ПЧ в образцах мяса птицы, обработанных такими же дозами, через 39 сут хранения составляет соответственно 4,2; 4,3; 4,5 и 5,1 ммоль активного кислорода/кг жира при норме не более 10,0, что ниже значения необработанных образцов (11,2 ммоль) в 2,7; 2,6; 2,5 и 2,2 раза соответственно ($p \leq 0,05$) (приложение М, рисунок М.15).

С увеличением дозы облучения в охлажденном мясе птицы повышаются значения КЧ и ПЧ. Так, ПЧ образцов, обработанных дозой 12 кГр, через 10; 20 и 30 сут хранения выше, чем при дозе 3 кГр на 17,6; 30,0; 14,3 % соответственно; КЧ выше

на 52,6; 39,7 и 26,1 %. На основании проведенных исследований установлено, что обработка ионизирующим излучением охлажденного мяса птицы (при высоких значениях КЧ и ПЧ при хранении более 30 сут) целесообразно проводить дозами до 9 кГр, что позволяет обеспечить высокое качество в процессе хранения до 30 сут.

На рисунке М.16 (приложение М) представлена динамика изменения ЛЖК в процессе хранения образцов мяса птицы, обработанных разными дозами ионизирующего излучения. Значения ЛЖК в образцах, обработанных дозой до 9 кГр, через 30 сут хранения соответствуют показателям свежего мяса. Обработанные дозой 10 кГр через 39 сут хранения и обработанные дозой 12 кГр через 30 и 39 сут образцы относятся к мясу сомнительной свежести с содержанием ЛЖК более 4 мг. В необработанных образцах после 20 сут хранения содержание ЛЖК составляет 5,3 мг, что соответствует мясу сомнительной свежести; после 30 и 39 сут – 9,1 и 9,9 мг, что соответствует несвежему мясу.

Таким образом, установлено, что показатели ААА, ПЧ, КЧ и ЛЖК соответствуют результатам органолептической оценки мясного сырья: говядину и мясо курицы промышленного забоя целесообразно облучать дозой 10 кГр; свинину и мясо птицы – дозой 9 кГр; шейку свиную, упакованную с применением МГС, – дозой 8 кГр, что позволит обеспечить высокое качество всех видов мясного сырья на периоде хранения до 30 сут.

4.1.4 Исследование микробиологических показателей охлажденного мясного сырья и мясных полуфабрикатов

Обработка пищевых продуктов ионизирующим излучением является эффективным способом подавления роста микроорганизмов без снижения пищевой ценности и ухудшения органолептических свойств [206; 407; 408].

Эффективность использования ионизирующего излучения для ингибирования роста микроорганизмов обусловлена величиной поглощенной дозы. Гибель

основной части вегетативных патогенных бактерий наступает для сальмонеллы (*Salmonella*) при воздействии дозами 0,2–1,2 кГр, для кишечной палочки – 0,24–1,68 кГр, полная гибель неспорообразующих бактерий наступает при дозе 0,25–2,5 кГр, бактерий кишечной палочки (*Escherichia coli*) – при дозе около 3 кГр, плесневых грибов – 2–5 кГр [14; 91]. При этом отмирание наступает через несколько часов после обработки. В мясе происходят процессы микробиологической порчи: плесневение под воздействием *Thamnidium*, *Rhizopus*, *Cladosporium*, гниение – *Pseudomonas*, *Clostridium*. Плесневые грибы расщепляют белки, жиры, углеводы, образуя на поверхности мяса пушистый налет в условиях высокой относительной влажности. Процесс гниения обусловлен распадом белков с образованием полипептидов и аминокислот. Инактивация дрожжей при обработке на электронном ускорителе наступает при дозе 1 кГр, летальная доза – 7,5 кГр [20]. Обработка охлажденного и (или) замороженного мяса и птицы низкой дозой ионизирующего излучения (менее 1 кГр) эффективна против паразитов и для инактивации патогенных и вызывающих порчу бактерий. Доза 0,5–3 кГр способствует уменьшению микробиологической обсемененности в мясе и мясопродуктах, доза 3–10 кГр приводит к инактивации неспорообразующих бактерий (*Salmonella*, *Campylobacter*, *Listeria*). Обработка свиных туш дозой 0,3 кГр позволяет инактивировать личинки трихинелл и свиного цепня, более низкие дозы снижают риск заражения человека ленточными гельминтами. Доза до 0,4 кГр инактивирует цисты бычьего солитера, вызывающего заболевание при потреблении недоваренной говядины. Большое количество паразитов и гельминтов уничтожается дозой менее 1 кГр без изменения вкуса пищи [14].

Применение радиационной технологии обработки мясного сырья с различной дозовой нагрузкой способствует уничтожению паразитических простейших и гельминтов, опасных для здоровья человека; за счет уменьшения микробной обсемененности обеспечивается удлинение сроков годности и сокращение технологических потерь. Как отмечают ряд авторов [141], обработка пищевых продуктов при помощи ионизирующего излучения, в отличие от традиционных методов, имеет благоприятное воздействие.

Мясное сырье в меньшей степени обсеменено патогенной микрофлорой, в отличие от мясных полуфабрикатов [7; 221].

Особенности проведения санитарно-микробиологической оценки определены методическими указаниями «Санитарно-эпидемиологическая оценка обоснования сроков годности и условий хранения пищевых продуктов» [134]. Гигиенические требования безопасности пищевых продуктов определяются СанПиН 2.3.2.1078-01, ТР ТС 021/2011 и ТР ТС 034/2013.

В результате проведенных микробиологических исследований говядины охлажденной, свинины охлажденной, мяса косули охлажденной и шейки свиной, упакованной с применением МГС, в процессе хранения установлено, что микробиологические показатели обработанной ионизирующим излучением говядины охлажденной соответствуют нормам ТР ТС 021/2011 и ТР ТС 034/2013 в процессе хранения до 39 сут, мяса птицы – до 30 сут хранения.

Результаты микробиологических исследований необработанных и обработанных разными дозами образцов мясного сырья через 10; 20; 30 и 39 сут хранения при температуре 0–2 °С представлены в приложении Н.

Через 30 и 39 сут хранения КМАФАнМ в необработанных образцах превышает установленные нормативы безопасности и составляет для говядины $2,0 \cdot 10^4$ и $6,6 \cdot 10^6$ КОЕ/г соответственно (приложение Н, таблица Н.1); для свинины – $3,4 \cdot 10^4$ и $7,8 \cdot 10^6$ КОЕ/г соответственно (таблица Н.2); для мяса косули – $2,9 \cdot 10^4$ и $8,9 \cdot 10^6$ КОЕ/г соответственно (таблица Н.4); для мяса птицы – $6,2 \cdot 10^4$ и $6,9 \cdot 10^7$ КОЕ/г (таблица Н.5).

В необработанных образцах шейки свиной, упакованной с применением МГС, КМАФАнМ через 20; 30 и 39 сут хранения превышает установленные нормативы безопасности и составляет $0,8 \cdot 10^4$; $2,2 \cdot 10^6$ и $5,3 \cdot 10^7$ КОЕ/г соответственно, содержание дрожжей после 39 сут – $1,6 \cdot 10^4$ КОЕ/г (приложение Н, таблица Н.3).

Во всех образцах мясного сырья отсутствуют микроорганизмы БГКП и патогенные, в том числе *Salmonella* и *Listeria monocytogenes*; в говядине, свинине, мясе косули и мясе птицы отсутствуют бактерии рода *Proteus*; в шейке свиной отсутствуют сульфитредуцирующие клостридии.

Эффективность обработки ионизирующим излучением (п. 2.3 диссертационного исследования) сразу после ее завершения составила 100 %, через 10 сут

хранения для образцов говядины, обработанных дозами 3 кГр, – 100 %, для образцов свинины – 95,6 %, образцов мяса косули – 95,5 %, образцов мяса птицы – 93,9 %, для образцов шейки свиной – 98,9 %. Эффективность обработки после 10 и 20 сут хранения для мясного сырья, обработанного дозами 9; 10 и 12 кГр, и для шейки свиной, обработанной дозами 8; 9 и 12 кГр составляет 100 % по сравнению с образцами, обработанными дозой 3 кГр (от 93,9 % для образцов мяса птицы до 100 % для образцов говядины). Полученные результаты доказывают высокую эффективность обработки ионизирующим излучением охлажденного мясного сырья при применении более высоких доз. Через 30 сут эффективность обработки варьирует от 98,8 % для образцов мяса птицы до 100 % для образцов говядины; через 39 сут – 99,999 %, кроме образцов мяса птицы, для которых эффективность обработки составляет 99,6–99,8 % (таблица 40).

Таблица 40 – Эффективность обработки ионизирующим излучением образцов мясного сырья

Доза облучения, кГр	Говядина		Свинина		Мясо косули		Мясо птицы		Доза облучения, кГр	Шейка свиная охлажденная		
	Срок хранения, сут									Срок хранения, сут		
	20	30	20	30	20	30	20	30		10	20	30
Эффективность обработки ионизирующим излучением, %												
3	100,0	99,7	99,8	95,6	96,3	99,90	95,5	96,2	3	98,9	99,8	99,80
9	100,0	100,0	99,9	100,0	100,0	99,90	100,0	100,0	8	100,0	100,0	99,80
10	100,0	100,0	99,9	100,0	100,0	99,90	100,0	100,0	9	100,0	100,0	99,96
12	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	99,96	100,0	100,0	12	100,0	100,0	99,98

Полученные результаты доказывают высокую эффективность обработки ионизирующим излучением охлажденного мясного сырья и согласуются с его органолептической оценкой.

Таким образом, результаты микробиологических исследований облученного мясного сырья разных видов – говядины, свинины, мяса косули, мяса птицы и шейки свиной, упакованной с применением МГС, показывают, что обработка ионизирующим излучением обеспечивает безопасность пищевого мясного сырья в соответствии с требованиями ТР ТС 021/2011 и ТР ТС 034/2013, что также согласуется с органолептической оценкой мясного сырья. При хранении до 39 сут во

всех образцах обработанной ионизирующим излучением продукции (а мяса птицы – до 30 сут) обеспечивается соблюдение требований технических регламентов по микробиологической безопасности.

Все исследуемые образцы мясного сырья по содержанию токсических элементов соответствовали требованиям ТР ТС 021/2011: содержание свинца – от 0,11 до 0,12 мг/кг; мышьяк, кадмий и ртуть не обнаружены (приложение М, таблица М.1).

4.1.5 Гистологические исследования мясных полуфабрикатов

Результаты гистологических исследований путем выявления изменений в микроструктуре мышечной ткани соответствуют результатам органолептической оценки и определения микробиологических показателей мяса охлажденной шейки свиной, упакованной с применением МГС. Установлено, что необработанные образцы шейки свиной через 10 сут хранения и обработанные дозами 8 и 12 кГр при хранении до 30 сут относятся к свежим: структура ядер мышечных волокон четко выражена, окраска равномерная; ясно и четко выражена исчерченность мышечных волокон (рисунок 64).

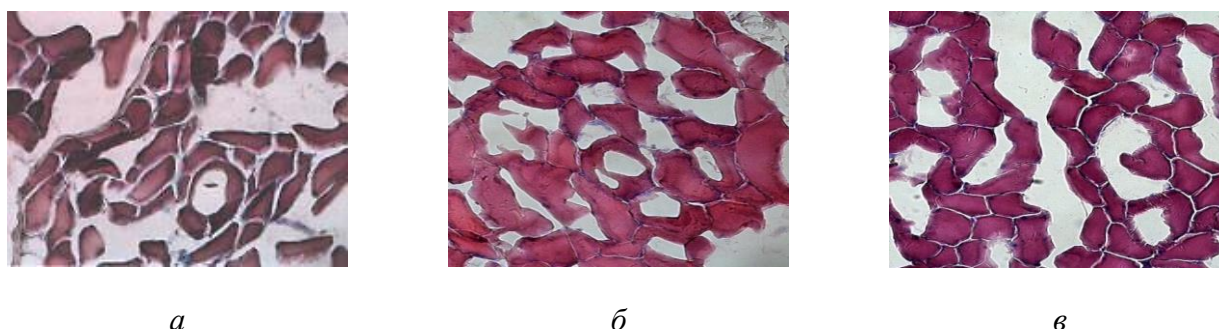


Рисунок 64 – Поперечнополосатая мышечная ткань образцов охлажденной шейки свиной на кости, упакованных с применением МГС, необработанных через 10 сут хранения (*а*); обработанных дозой 8 кГр через 30 сут хранения (*б*); обработанных дозой 12 кГр через 30 сут хранения (*в*)

Через 20 сут хранения в необработанном мясе структура ядер мышечных волокон неразличима, окраска неравномерная, исчерченность мышечных волокон слабо различимая, мышцы неплотно прилегают друг к другу, присутствует микрофлора в виде слабых очажков. Такое мясо относится к мясу сомнительной свежести. Через 30 сут хранения наблюдается почти полное исчезновение ядер, почти полное исчезновение 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; присутствует микрофлора в виде множественных очажков (рисунок 65).

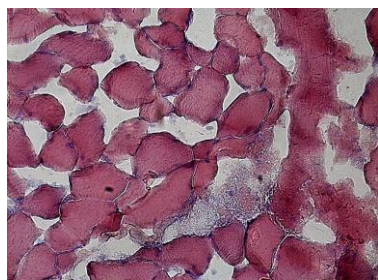
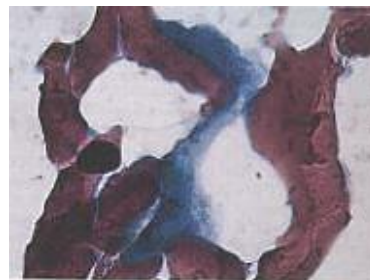
*a**б*

Рисунок 65 – Поперечнополосатая мышечная ткань необработанных образцов охлажденной шейки свиной на кости, упакованных с применением МГС, через 20 сут хранения (*a*) и через 30 сут хранения (*б*)

Таким образом, результаты исследований органолептических и микробиологических показателей подтверждаются гистологическими исследованиями необработанных и обработанных ионизирующим излучением образцов шейки свиной на кости, упакованных с применением МГС.

4.1.6 Оценка антиоксидантной активности охлажденного мясного сырья и мясных полуфабрикатов потенциометрическим методом

Общеизвестно, что антиоксиданты играют важную роль в организме, защищая клетки организма человека от действия свободных радикалов. Богатыми источниками антиоксидантов являются в первую очередь продукты растительного происхождения. Однако продукты животного происхождения также обладают антиоксидантной активностью (АОА) за счет содержания в них полноценных источников антиоксидантов, таких как фосфолипиды, витамины группы В (в частности, В₂), А и Е, аминокислоты (метионин, глутатион, цистеин), минеральные вещества (селен, хром, цинк), ферменты, дипептиды – карнозин (β -аланил-L-гистидин), гомокарнозин (γ -амино-бутирил-L-гистидин) и ансерин (β -аланил-1-метил-L-гистидин), убихинон, серосодержащие соединения и другие биологически активные вещества [235]. Антиоксиданты замедляют окислительные процессы, приводящие к изменениям сенсорных и питательно-физиологических свойств мяса [64].

В работе [140] на основе обобщения информации о методах определения концентрации антиоксидантов (наиболее широко используются электрохимические и спектрофотометрические методы анализа; другие методы – непрямые, измеряющие ингибирование реакционных смесей (свободных радикалов), генерированных определенными реакциями [309]) подчеркивается, что сравнивать данные, полученные разными методами, не представляется возможным, поскольку методы основаны на разных принципах измерения, модельных системах, имеют разную размерность показателя АОА. В результате каждый исследователь выбирает готовый, создает новый или модифицирует известный метод, исходя из своих целей и возможностей.

После обработки продовольственного сырья и пищевых продуктов ионизирующим излучением в них возникают свободнорадикальные процессы, и антиоксиданты восстанавливают свободные радикалы до стабильных неактивных соединений, обрывая цепные реакции, что может привести к снижению АОА. Таким образом, содержание антиоксидантов и свободных радикалов взаимосвязано [191].

Концепция антиокислительного статуса переработанных пищевых продуктов является важным параметром оценки качества продукта [95]. Обработка ионизирующим излучением вызывает образование свободных радикалов, которые связываются антиоксидантными комплексами, следовательно, можно предположить, что в пищевых продуктах, обработанных ионизирующим излучением, количество антиоксидантов будет существенно ниже, чем в необработанных.

Проведены исследования по определению АОА пищевой продукции, обработанной разными дозами ионизирующего излучения, потенциометрическим методом. Этот метод отличается высокой точностью и простотой измерения. Для исследований были приготовлены образцы водных вытяжек мышечной ткани разных видов охлажденного мяса согласно п. 2.2. По результатам исследований установлено, что АОА зависит от вида сырья (рисунок 66). Установлена корреляция между дозой облучения образцов сырья животного происхождения и их АОА с высокой степенью корреляционной зависимости: для говядины – 0,97, свинины и шейки свиной – 0,99, мяса птицы – 0,98, мяса косули – 0,96.

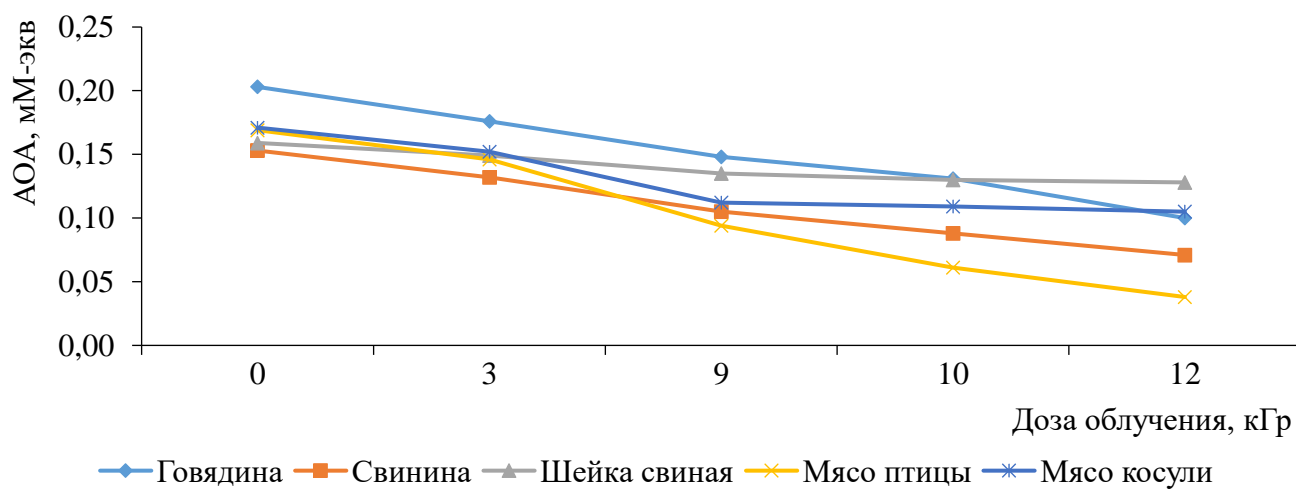


Рисунок 66 – АОА в образцах сырья и продуктов животного происхождения до и после обработки ионизирующим излучением

Наибольшая АОА отмечена в необработанных образцах сырья животного происхождения: говядина – $(0,203 \pm 0,019)$ мМ-экв, свинина – $(0,153 \pm 0,003)$ мМ-

экв, мясо птицы – $(0,169 \pm 0,018)$ мМ-экв, мясо косули – $(0,171 \pm 0,007)$ мМ-экв, шейка свиная, упакованная с применением МГС, – $(0,159 \pm 0,013)$ мМ-экв.

Установлено, что после обработки дозой 12 кГр АОА в говядине уменьшилась в 2 раза до $(0,100 \pm 0,010)$ мМ-экв, в свинине – в 2,2 раза до $(0,071 \pm 0,005)$ мМ-экв, в шейке свиной – в 1,2 раза до $(0,128 \pm 0,004)$ мМ-экв, в мясе птицы – в 4,5 раза до $(0,038 \pm 0,001)$ мМ-экв, в мясе косули – в 1,6 раза до $(0,105 \pm 0,003)$ мМ-экв по сравнению с необработанными образцами ($p \leq 0,05$). При увеличении дозы облучения с 3 до 12 кГр выявлено снижение АОА во всех образцах мясного сырья. Так, АОА в образцах говядины снижается с $(0,176 \pm 0,021)$ до $(0,100 \pm 0,010)$ мМ-экв, или на 43,2 %; в образцах свинины – с $(0,132 \pm 0,005)$ до $(0,071 \pm 0,005)$ мМ-экв, или на 46,2 %; в образцах шейки свиной – с $(0,149 \pm 0,004)$ до $(0,128 \pm 0,004)$ мМ-экв, или на 16,4 %; в образцах мяса птицы – с $(0,146 \pm 0,013)$ до $(0,038 \pm 0,001)$ мМ-экв, или на 74,0 %; в образцах мяса косули – с $(0,152 \pm 0,011)$ до $(0,105 \pm 0,003)$ мМ-экв, или на 44,8 % ($p \leq 0,05$).

Процесс изменения АОА обработанных ионизирующим излучением образцов мышечной ткани сырья животного происхождения обусловлен тем, что присутствующие в говядине, свинине, мясе птицы и косули, шейке свиной, упакованной с применением МГС, антиоксиданты (в первую очередь аминокислотные остатки белков – метионин, цистин, гистидин, триптофан, тирозин, фенилаланин) расходуются на реакцию «поглощения» свободных радикалов, восстанавливая их до стабильных неактивных соединений и тем самым прерывая цепные реакции образования радикальных систем, что в дальнейшем приводит к снижению АОА образцов сырья животного происхождения.

Необработанные образцы мясного сырья исследованы при хранении до 10 сут, согласно результатам органолептической оценки оценены как свежее мясо. При этом отмечается снижение АОА с $(0,203 \pm 0,019)$ до $(0,143 \pm 0,010)$ мМ-экв, или на 42,0 % ($p \leq 0,05$). Через 39 сут в образцах говядины, обработанных дозой 10 кГр, АОА снижается с $(0,131 \pm 0,006)$ до $(0,105 \pm 0,003)$ мМ-экв, или на 24,8 %; при дозе 12 кГр – с $(0,100 \pm 0,010)$ до $(0,073 \pm 0,003)$ мМ-экв, или на 37,0 % ($p \leq 0,05$) (рисунок 67).

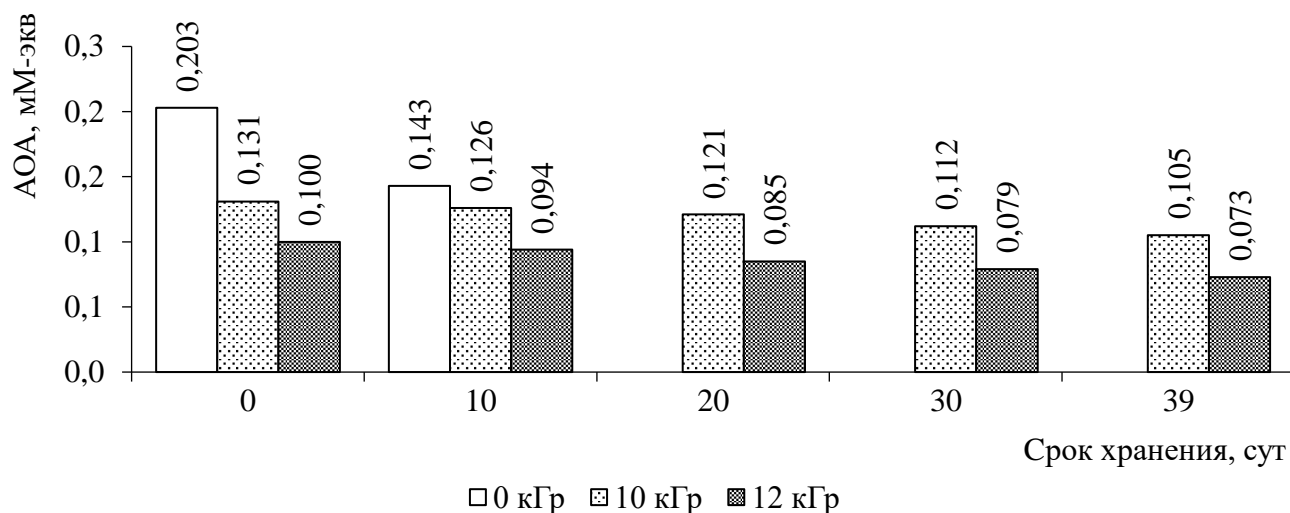


Рисунок 67 – АОА в необработанных и обработанных разными дозами ионизирующего излучения образцах говядины в процессе хранения

В процессе хранения образцов охлажденной свинины до 10 сут отмечается снижение АОА с $(0,153 \pm 0,003)$ до $(0,114 \pm 0,021)$ мМ-экв, или на 34,2 % ($p \leq 0,05$). Через 39 сут хранения АОА в образцах свинины, обработанных дозой 9 кГр, снижается с $(0,105 \pm 0,007)$ до $(0,069 \pm 0,005)$ мМ-экв, или на 52,2 %; при дозе 10 кГр – с $(0,088 \pm 0,002)$ до $(0,063 \pm 0,001)$ мМ-экв, или на 39,6 %; при 12 кГр – с $(0,071 \pm 0,005)$ до $(0,059 \pm 0,003)$ мМ-экв, или на 20,3 % ($p \leq 0,05$) (рисунок 68).

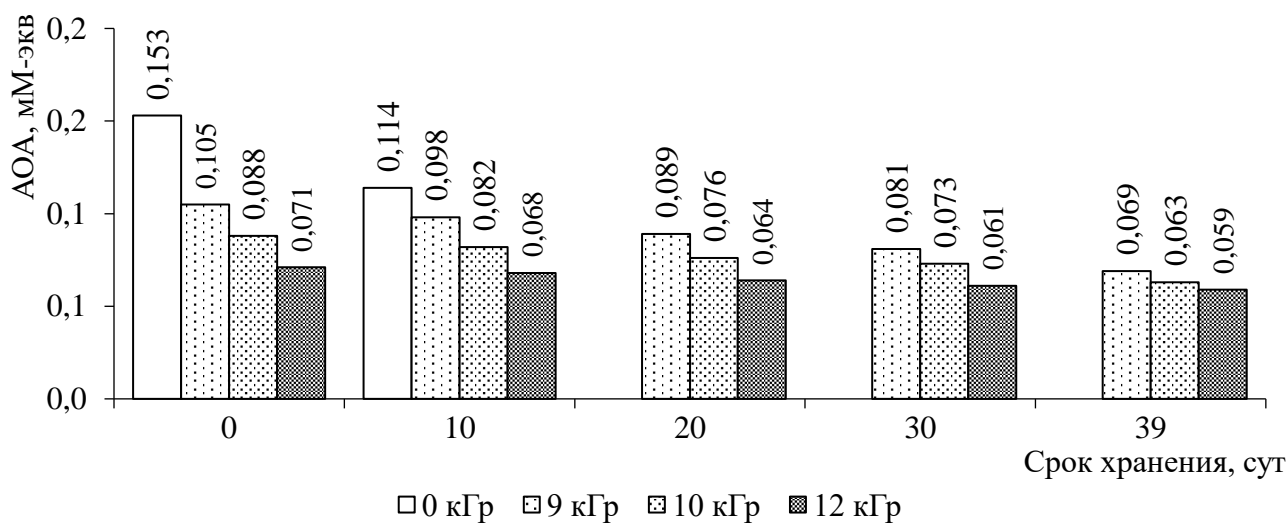


Рисунок 68 – АОА в необработанных и обработанных разными дозами ионизирующего излучения образцах свинины в процессе хранения

При хранении до 10 сут в образцах охлажденных шейки свиной, упакованной с применением МГС, отмечается снижение АОА с $(0,159 \pm 0,013)$ до $(0,126 \pm 0,008)$ мМ-экв, или на 26,2 % ($p \leq 0,05$). Через 39 сут хранения в образцах, обработанных дозой 3 кГр, АОА снижается с $(0,149 \pm 0,006)$ до $(0,129 \pm 0,004)$ мМ-экв, или на 15,5 %; при дозе 8 кГр – с $(0,138 \pm 0,004)$ до $(0,118 \pm 0,006)$ мМ-экв, или на 16,9 %; при 9 кГр – с $(0,135 \pm 0,008)$ до $(0,109 \pm 0,004)$ мМ-экв, или на 23,9 % ($p \leq 0,05$) (рисунок 69).

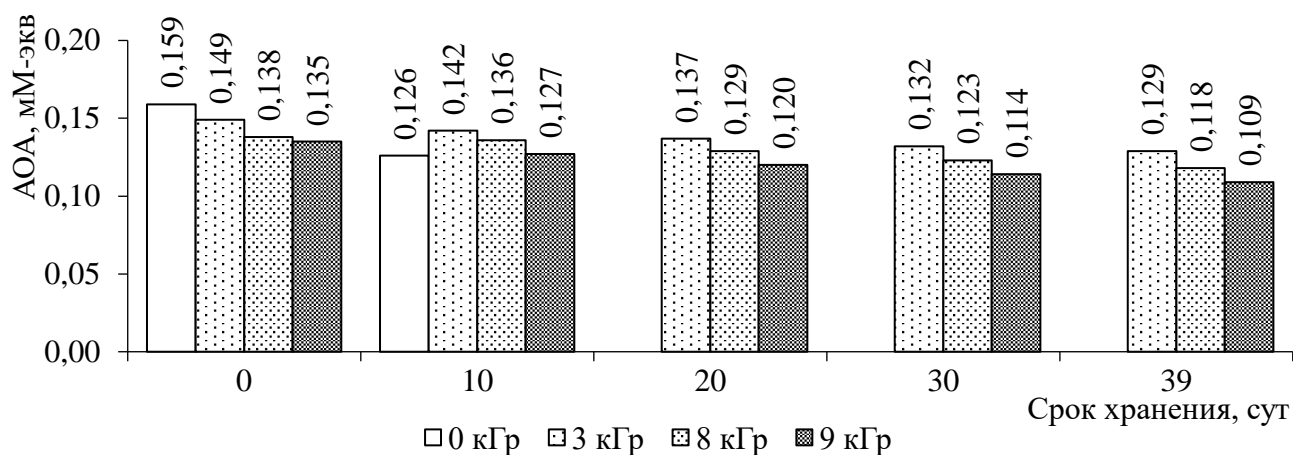


Рисунок 69 – АОА в необработанных и обработанных разными дозами ионизирующего излучения образцах шейки свиной в процессе хранения

При хранении до 10 сут в образцах охлажденного мяса косули отмечается снижение АОА с $(0,171 \pm 0,007)$ до $(0,152 \pm 0,010)$ мМ-экв, или на 12,5 % ($p \leq 0,05$). Через 39 сут хранения в образцах, обработанных дозой 10 кГр, АОА снижается с $(0,109 \pm 0,004)$ до $(0,083 \pm 0,003)$ мМ-экв, или на 31,3 %; при дозе 12 кГр – с $(0,105 \pm 0,003)$ до $(0,077 \pm 0,003)$ мМ-экв, или на 36,4 % ($p \leq 0,05$) (рисунок 70).

В процессе хранения образцов охлажденного мяса птицы до 10 сут отмечается уменьшение АОА с $(0,169 \pm 0,018)$ до $(0,143 \pm 0,010)$ мМ-экв, или на 18,2 %. Через 39 сут хранения в образцах мяса птицы, обработанных дозой 3 кГр, АОА снижается с $(0,146 \pm 0,013)$ до $(0,110 \pm 0,003)$ мМ-экв, или на 32,7 %; при дозе 9 кГр – с $(0,094 \pm 0,010)$ до $(0,073 \pm 0,007)$ мМ-экв, или на 28,8 % ($p \leq 0,05$) (рисунок 71).

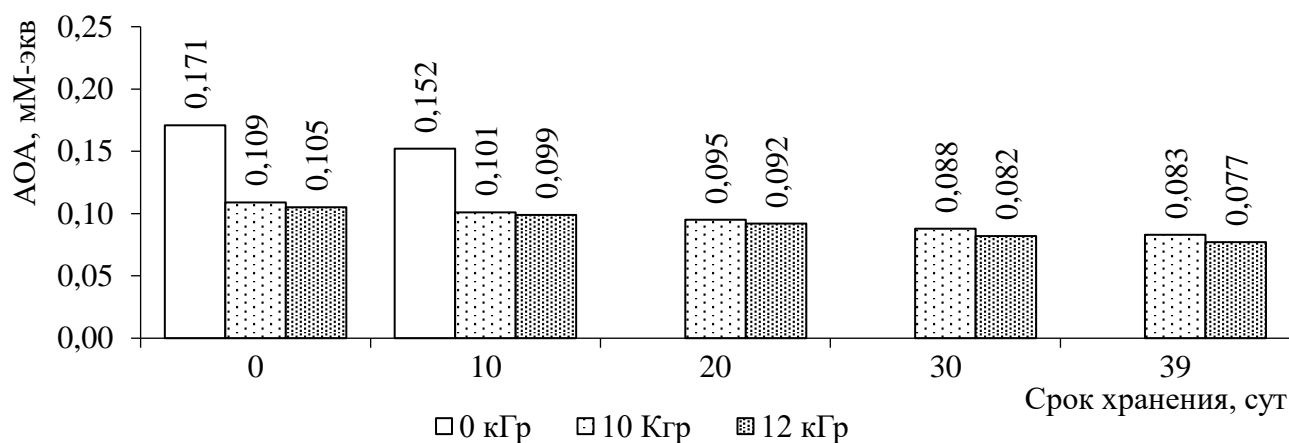


Рисунок 70 – АОА в необработанных и обработанных разными дозами ионизирующего излучения образцах мяса косули в процессе хранения

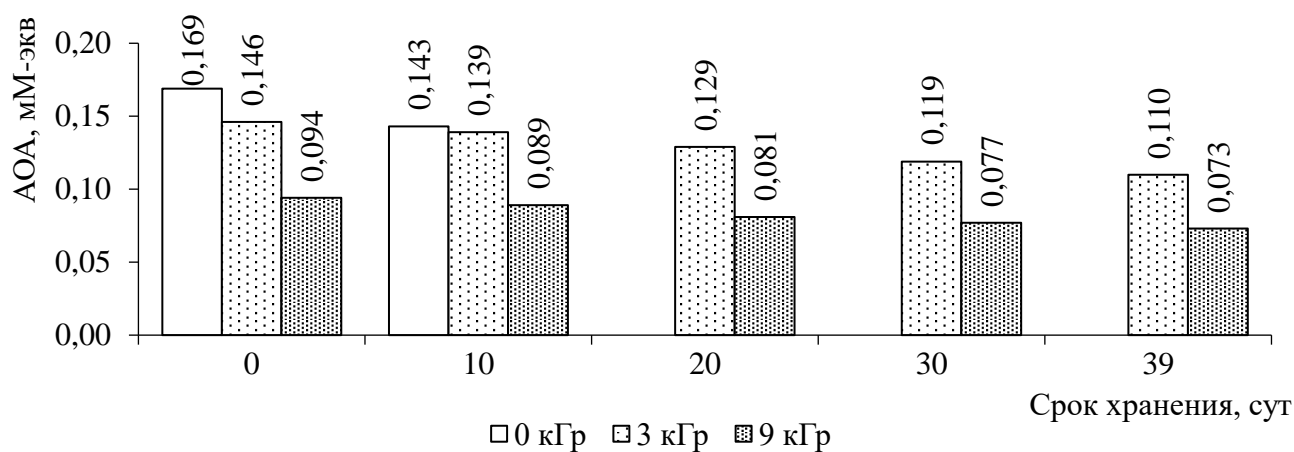


Рисунок 71 – АОА в необработанных и обработанных разными дозами ионизирующего излучения образцах мяса птицы в процессе хранения

В результате проведенных экспериментальных исследований установлено, что антиоксидантная активность зависит от вида сырья животного происхождения: более высокая АОА в образцах говядины и мяса косули, более низкая – в мясе птицы и свинине, что может быть обусловлено более высоким содержанием белковых компонентов в говядине, мясе косули и птице при одновременно более высоком содержании жира в свинине. Полученные результаты по различной АОА в разных видах мяса согласуются с исследованиями ряда авторов [109].

В то же время установлены различные темпы изменения АОА в зависимости от дозы облучения в разных видах сырья животного происхождения. Так,

наибольшие изменения наблюдаются в мясе птицы – в 4,5 раза уменьшилась АОА при облучении дозой 12 кГр по сравнению с необработанными образцами; наименьшее изменение – в мясе млекопитающих: в 1,6 раза в мясе косули, в 2,0 раза в говядине и в 2,2 раза в свинине. Такое различие может быть обусловлено видовыми особенностями животных: консистенция мышечной ткани мяса птицы более рыхлая, соответственно процессы окисления и гидролиза проходят более интенсивно и антиоксиданты расходуются быстрее. В шейке свиной, упакованной с применением МГС, АОА уменьшилась в 1,2 раза. Таким образом, предлагается ограничить дозу облучения с целью сохранения пищевой и биологической ценности пищевого сырья: для говядины и мяса косули – до 10 кГр, для свинины и мяса птицы – до 9 кГр, для шейки свиной – 8 кГр. Сравнительная характеристика антиоксидантной активности свинины как сырья и шейки свиной, упакованной в МГС, показывает, что в процессе хранения хранения АОА в шейке свиной выше, чем собственно в свинине. Оптимальный срок хранения мясного сырья (кроме говядины) и шейки свиной, исходя из возможности сохранения высокого антиоксидантного потенциала, можно предложить до 30 сут, для говядины – до 39 сут.

Установленная каузальная связь между дозой облучения и АОА: чем выше доза облучения, тем ниже значения АОА, при этом в процессе хранения происходит уменьшение АОА, что согласуется с ранее установленными данными [191].

Вероятностный процесс изменения АОА обработанных ионизирующим излучением образцов мякотной ткани животного сырья заключается в следующем: ионизирующее излучение запускает цепную реакцию, приводящую к росту в обработанном мясе концентрации свободных радикалов. Белки мяса способны «улавливать» от 50 до 75 % образующихся свободнорадикальных соединений. Наиболее чувствительны к окислению серосодержащие (метионин, цистеин) и ароматические (гистидин, триптофан, тирозин и фенилаланин) аминокислотные остатки белков. Антиоксидантный эффект во многом определяется гистидиновым остатком. В свободном виде гистидин является перехватчиком НО-радикалов и одним из наиболее эффективных «гасителей» синглетного кислорода. При этом антиоксиданты вступают во взаимодействие со свободными радикалами, восстанавливая их

до стабильно неактивных веществ с одновременным обрывом реакционных цепей. Антиоксиданты мяса расходуются на реакцию «поглощения» свободных радикалов, что приводит к снижению АОА образцов сырья животного происхождения. Полученные результаты позволяют установить обратно пропорциональную связь между дозой облучения и АОА в мясе.

Исследование потенциометрическим методом позволяет доступно, без разделения на индивидуальные антиоксиданты и с высокой степенью достоверности исследовать антиоксидантную активность. Тем самым расширяются возможности для контроля и выявления обработанной ионизирующим излучением пищевой продукции, в отличие от более узких направлений возможного контроля облученных готовых мясных продуктов с помощью антиоксидантов только по окислению липидов и летучим соединениям серы, предложенных в работе [371].

4.1.7 Исследование теплофизических свойств охлажденного мясного сырья

Качество исходного мясного сырья изменяется под влиянием разных факторов – от убоя сельскохозяйственных животных и птицы и охлаждения туш/тушек до физических характеристик сырья: химического состава, плотности (средняя плотность обезжиренного мяса – 1 070 кг/м³, жировой ткани – 950–970 кг/м³, кости – 1 130–1 300 кг/м³), влажности, температуры, структуры, теплофизических свойств и др. Нарушение условий охлаждения в первые часы после забоя может привести к загару и закисанию мяса в результате размножения микроорганизмов на фоне слабощелочной среды мяса (рН 7,1–7,2). Высокая скорость охлаждения на начальном этапе технологического цикла производства может вызвать так называемое холодное сокращение мышц, вследствие чего мясо становится жестким в течение послеубойного хранения. Быстрое охлаждение тушек может привести к появлению мяса с нетрадиционными свойствами, в том числе признаками DFD.

Функционально-технологические свойства мясного сырья являются определяющими для качества мясopодуkтов [146]. Собственно процесс охлаждения во

многим определяется теплопроводностью продукта. Мясное сырье животного происхождения отличается низкой теплопроводностью и соответственно разной температурой на поверхности и в толще туш/тушек. Теплопроводность играет существенную роль в процессе технологической переработки мяса в готовый продукт и характеризуется следующими показателями: коэффициентами теплопроводности и температуропроводности, удельной теплоемкостью, объемной массой, вязкостью и плотностью, коэффициентами диффузии и др.

Под воздействием ионизирующего излучения в мышечной ткани активируются протеолитические процессы с увеличением числа свободных карбоксильных и аминогрупп в белковой молекуле и повышением гидратации и нежности мяса. Набухание коллагена соединительной ткани и белков мышечной ткани и увеличение количества связанной влаги влияет на изменение коэффициента теплопроводности мясного сырья.

К наиболее распространенным методам определения теплофизических характеристик можно отнести методы регулярного теплового режима [222; 284], лазерной фотоакустической спектроскопии [129], стереофограмметрической цифровой теплофизической съемки [300; 306] и различные аналитические методы. В то же время метод регулярного режима охлаждения [94; 306] позволяет с высокой степенью точности быстро получать экспериментальные данные без существенных затрат на проведение эксперимента.

Результаты проведенных исследований теплофизических свойств говядины, свинины и мяса птицы, используемых в дальнейшем для переработки в промышленном масштабе, представлены в таблице 41.

С увеличением дозы облучения отмечается увеличение коэффициента температуропроводности по сравнению с необработанными образцами, что характеризует увеличение скорости выравнивания температуры в разных точках температурного поля образцов мяса: в образцах говядины при дозе 10 кГр – на 22,8 %, при 12 кГр – на 43,5 % по сравнению с необработанными образцами; в образцах свинины при дозе 9 кГр – на 14,1 %, при 12 кГр – на 30,8 % по сравнению с необработанными образцами; в образцах мяса птицы – соответственно на 24,7 и 54,7 %.

Таблица 41 – Изменение теплофизических свойств мяса, полученных от разных видов животных и птицы

Говядина			Свинина			Мясо птицы		
Доза облучения, кГр								
0	10	12	0	9	12	0	9	12
Коэффициент температуропроводности a , м ² /с								
$(9,2 \pm 0,1) \cdot 10^{-8}$	$(11,3 \pm 0,2) \cdot 10^{-8}$	$(13,2 \pm 0,2) \cdot 10^{-8}$	$(7,8 \pm 0,1) \cdot 10^{-8}$	$(8,9 \pm 0,1) \cdot 10^{-8}$	$(10,2 \pm 0,1) \cdot 10^{-8}$	$(7,3 \pm 0,1) \cdot 10^{-8}$	$(9,1 \pm 0,1) \cdot 10^{-8}$	$(11,29 \pm 0,2) \cdot 10^{-8}$
Коэффициент теплопроводности λ , Вт/(м·К)								
$0,33 \pm 0,01$	$0,35 \pm 0,01$	$0,38 \pm 0,01$	$0,44 \pm 0,01$	$0,53 \pm 0,02$	$0,57 \pm 0,01$	$0,57 \pm 0,02$	$0,60 \pm 0,02$	$0,61 \pm 0,01$
Коэффициент удельной теплоемкости c , Дж/(кг·К)								
3520 ± 11	3502 ± 6	3097 ± 5	2802 ± 4	2650 ± 7	2540 ± 8	5321 ± 12	4670 ± 5	4317 ± 6
Справочно для мясного сырья, не обработанного ионизирующим излучением, по: [222]								
$a = 12,5 \cdot 10^{-8}$ м ² /с $\lambda = 0,49$ Вт/(м·К) $c = 3601$ Дж/(кг·К)			$a = 10,6 \cdot 10^{-8}$ м ² /с $\lambda = 0,33$ Вт/(м·К) $c = 3056$ Дж/(кг·К)			$a = 10,9 \cdot 10^{-8}$ м ² /с $\lambda = 0,415$ Вт/(м·К) $c = 3559$ Дж/(кг·К)		

По данным [212; 284] на изменение величины коэффициента температуропроводности влияет изменение ВСС и влагосодержания. С увеличением дозы облучения отмечается увеличение коэффициента теплопроводности, что характеризует увеличение способности мясного сырья проводить большее количество тепла при увеличении дозы облучения: в образцах говядины при дозе 10 кГр – на 6,1 %, при 12 кГр – на 15,2 % по сравнению с необработанными образцами; в образцах свинины при дозе 9 кГр – на 20,5 %, при 12 кГр – на 29,5 % по сравнению с необработанными образцами; в образцах мяса птицы – соответственно на 5,3 и 7,0 %.

На изменение коэффициента теплопроводности может влиять общее содержание жира в мышечной ткани, теплопроводность которого в три раза меньше теплопроводности мышечной ткани мяса [222]. Коэффициент удельной теплоемкости с увеличением дозы облучения уменьшается: в говядине – на 11,6 %, в свинине и мясе птицы – на 4,2 и 7,6 % соответственно, что обусловлено уменьшением содержания влаги и согласуется с исследованиями [222].

Таким образом, обработанные ионизирующим излучением образцы мясного сырья (говядина, свинина, мясо птицы) интенсивно аккумулируют энергию ионизирующего излучения, 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 мясных фаршей, копченостей и других мясных продуктов, произведенных из облученного мясного сырья.

На основании проведенных исследований установлено, что обработка ионизирующим излучением мясного сырья и мясных полуфабрикатов обеспечивает высокое качество и безопасность пищевого сырья в соответствии с требованиями ТР ТС 021/2011 и ТР ТС 034/2013, а также продление сроков годности.

На основе комплексного исследования (органолептическая оценка, исследование химического состава и аминокислотного состава, показателей свежести, микробиологических показателей и теплофизических свойств) разных видов мясного сырья:

– говядины, обработанной дозами ионизирующего излучения 3; 9; 10 и 12 кГр, в процессе хранения до 39 сут предлагается ограничение оптимальной дозы облучения до 10 кГр (поглощенная доза ОКТ согласно п. 3.3 составляет $(4,5 \pm 0,3)$ кГр);

– свинины, обработанной дозами ионизирующего излучения 3; 9; 10 и 12 кГр, в процессе хранения до 39 сут предлагается ограничение оптимальной дозы облучения до 9 кГр (поглощенная доза ОКТ согласно п. 3.3 составляет $(3,4 \pm 0,2)$ кГр);

– шейки свиной, упакованной с применением МГС, обработанной дозами ионизирующего излучения 8; 9 и 12 кГр, в процессе хранения до 39 сут предлагается ограничение оптимальной дозы облучения до 8 кГр (поглощенная доза ОКТ согласно п. 3.3 составляет до $(2,9 \pm 0,2)$ кГр).

Всё это позволит обеспечивать высокое качество мяса с пролонгацией сроков хранения до 30 сут в соответствии с высокой степенью (до 99,9 %) эффективности обработки ионизирующим излучением и низкими показателями свежести (ААА, ПЧ и КЧ), что сопоставимо с результатами проведенной органолептической оценки. При этом обеспечиваются высокие показатели сбалансированности аминокислотного состава, биологической ценности белка и его полноценность. Содержание антиоксидантов, идущих на нейтрализацию свободных радикалов, в процессе хранения снижается. Теплофизические показатели образцов охлажденной говядины и охлажденной свинины, обработанных ионизирующим излучением, за счет увеличения скорости отвода тепла после обработки способствуют уменьшению микробиологической обсемененности, что влияет на замедление скорости размножения микроорганизмов. Ограничение дозы облучения для охлажденной говядины до 10 кГр обеспечивает продление срока годности в 1,9 раза, для свинины до 9 кГр обеспечивает пролонгацию срока годности в 2,5 раза по сравнению с требованиями по «Срокам реализации, температуре и условиям хранения основных продовольственных товаров» [216], для шейки свиной до 8 кГр продлевает срок годности в 3,0 раза относительно требований ТУ 10.11.10-008-57668367-2017 «Мясо. Говядина и свинина, разделанные для розничной торговли».

На основе комплексного исследования мяса косули, обработанного дозами 3; 9; 10 и 12 кГр, в процессе хранения до 39 сут предлагается ограничение

оптимальной дозы облучения до 10 кГр (поглощенная доза ОКТ согласно п. 3.3 составляет до $(4,2 \pm 0,2)$ кГр), что позволяет обеспечивать высокое качество с пролонгацией сроков хранения до 30 сут в соответствии с высокой степенью (до 99,8 %) эффективности обработки ионизирующим излучением и низкими показателями свежести (ААА, ПЧ и КЧ), что сопоставимо с результатами проведенной органолептической оценки. При этом обеспечиваются высокие показатели сбалансированности аминокислотного состава, биологической ценности белка (в том числе БКП) и его полноценность. Установлено снижение содержания антиоксидантов после обработки ионизирующим излучением и в процессе хранения. Продление срока годности в 2,5 раза определено относительно сопоставимых требований к баранине по «Срокам реализации, температуре и условиям хранения основных продовольственных товаров» [216].

В результате комплексного исследования мяса птицы, обработанного дозами 3; 9; 10 и 12 кГр, в процессе хранения до 39 сут предлагается ограничение оптимальной дозой облучения до 9 кГр (поглощенная доза ОКТ согласно п. 3.3 составляет до $(2,8 \pm 0,3)$ кГр), что позволяет обеспечивать высокое качество с пролонгацией сроков хранения до 30 сут в соответствии с высокой степенью (до 98,9 %) эффективности обработки ионизирующим излучением и низкими показателями свежести (ААА, ПЧ и КЧ), что сопоставимо с результатами проведенной органолептической оценки. При этом обеспечиваются высокие показатели сбалансированности аминокислотного состава и биологической ценности белка (в том числе БКП). Сбалансированный аминокислотный состав белка в обработанных образцах обеспечивают полное покрытие суточной потребности человека в незаменимых аминокислотах, кроме валина. Установлено снижение содержания антиоксидантов после обработки ионизирующим излучением и в процессе хранения. Теплофизические свойства образцов охлажденного мяса птицы после обработки за счет увеличения скорости отвода тепла способствуют уменьшению микробиологической обсемененности, что влияет на замедление скорости размножения микроорганизмов. Ограничение дозы облучения для мяса птицы до 9 кГр обеспечивает возможность продления срока годности в 6 раз относительно требований ГОСТ 31962-2013.

Проведенные комплексные исследования качества и безопасности охлажденного мясного сырья и мясных полуфабрикатов после обработки ионизирующим излучением имеют большое значение для формирования банка данных оптимальных доз облучения пищевого сырья.

4.2 Влияние ионизирующего излучения на сохраняемость охлажденной рыбы в процессе хранения

Охлажденная рыбная продукция, которая относится к особо скоропортящемуся виду пищевой продукции, в общем объеме производства рыбы в России занимает более 22 %. Вопросы сохранности выловленной рыбной продукции как источника полноценного легкоусвояемого белка и ненасыщенных жирных кислот не теряют своей актуальности, так как в результате ферментативной и микробиальной порчи ежегодно теряется до 5 млн т мирового улова рыбы и креветок. Одной из причин низкой сохранности рыбного сырья в отличие от мяса сельскохозяйственных животных является отсутствие в мышечной ткани гликогена, вследствие чего не происходит образование молочной кислоты и рН остается на уровне 6,3–6,6, что создает благоприятные условия для развития микрофлоры [105]. Ценность рыбы зависит от условий и применяемых технологий хранения. Традиционно применяется технология хранения в замороженном виде.

В то же время востребованная на потребительском рынке охлажденная рыба отличается непродолжительными сроками хранения и требует особых условий: согласно требованиям ТР ЕАЭС 040/2016 «О безопасности рыбы и рыбной продукции» она должна храниться при температуре не выше 5 °С, но выше температуры замерзания тканевого сока [223]. Исторически сложилось так, что места вылова рыбы в районах естественного ареала территориально расположены на больших расстояниях от мест переработки и городских агломераций, что не позволяет полностью обеспечить охлажденной продукцией население всех регионов России.

Применение радиационных технологий с оптимально установленными дозами облучения в пределах от 0,83 до 3 кГр позволяет продлить сроки годности охлажденной рыбы разных видов до 1 мес. при хранении в условиях низких плюсовых температур [324; 325; 369; 462].

В нашей стране согласно ГОСТ 31154-2017 «Руководство по облучению рыбы и морепродуктов с целью подавления патогенных и вызывающих порчу микроорганизмов», введенному в действие с 1 февраля 2019 г., разрешена обработка рыбного пищевого сырья ионизирующим излучением. В связи с этим требуется обоснование оптимальных доз, применяемых для продления сроков годности охлажденной рыбы.

Идентификация рыбного сырья проводилась в соответствии с требованиями ТР ЕАЭС 040/2016 «О безопасности рыбы и рыбной продукции» путем сравнения наименования с данными, указанными в товаросопроводительной документации и на маркировке упаковки для упакованной рыбы. Изучение маркировки проводили в соответствии с требованиями ТР ЕАЭС 040/2016 «О безопасности рыбы и рыбной продукции» и нормативной-технической документации.

На следующих этапах проводили органолептическую оценку охлажденной рыбы, исследование физико-химических и микробиологических показателей.

4.2.1 Органолептическая оценка охлажденной рыбы

На первом этапе исследований проводилась органолептическая оценка рыбы охлажденной, обработанной разными дозами ионизирующего излучения, по пятибалльной системе согласно шкале, приведенной в таблице 1 в главе 2 настоящего диссертационного исследования.

Описательная органолептическая характеристика и результаты балльной оценки контрольных (не подвергавшихся ионизирующему излучению) и опытных (обработанных ионизирующим излучением) образцов охлажденной рыбы (карпа

обыкновенного (*Cyprinus carpio*) охлажденного неразделанного IV квартала) представлены в таблице П.1 (приложение П) и на рисунке 72.

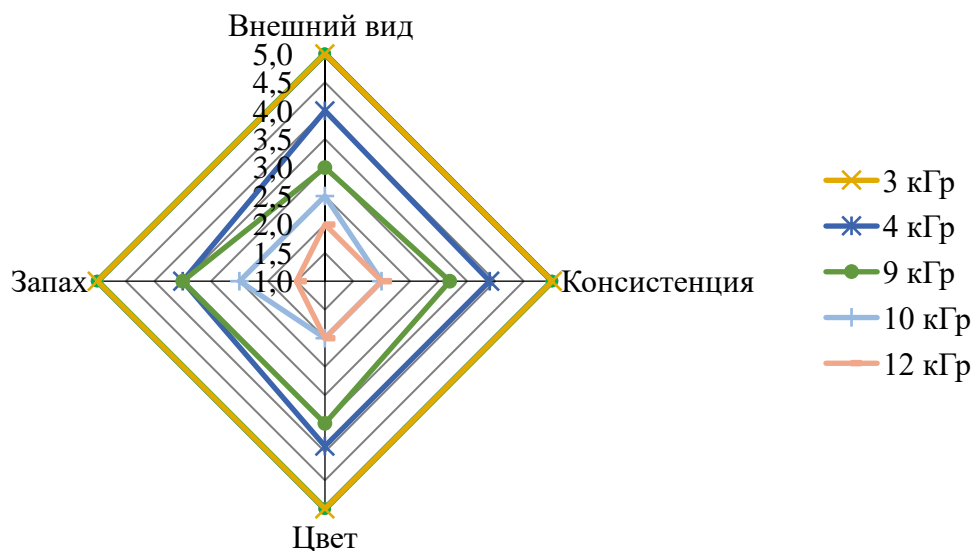


Рисунок 72 – Органолептический профиль образцов охлажденной рыбы, обработанных разными дозами ионизирующего излучения, балл

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.

Органолептическая оценка свежести необработанных и обработанных разными дозами ионизирующего излучения образцов карпа обыкновенного проводилась при хранении с учетом коэффициента резерва: через 10; 20; 30 и 39 сут. Образцы, не подвергавшиеся воздействию ионизирующего излучения, через 10 сут хранения можно отнести к свежей рыбе, через 20; 30 и 39 сут – к несвежей рыбе.

Результаты балльной оценки представлены в сводной таблице П.2 (приложение П). Образцы карпа обыкновенного, обработанные дозами ионизирующего

излучения 1; 2 и 3 кГр, через 10; 20 и 30 сут хранения по органолептическим показателям относятся к свежей рыбе. Качество образцов, обработанных дозами 4; 9; 10 и 12 кГр, оценивается как неудовлетворительное: мясо отличается коричневатокрасным цветом, липкостью мышц и поверхностных слоев кожи, имеет запах окисленности, консистенция жира размягчается, бульон неароматный. Полученные данные подтверждаются результатами других исследователей, показавших, что при обработке рыбы высокими дозами возможно чрезвычайное окисление и появление нежелательных запахов [512].

В сводной таблице П.2 (приложение П) по результатам органолептической оценки охлажденного карпа обыкновенного установлено, что образцы, обработанные дозами ионизирующего излучения 1; 2 и 3 кГр, через 30 сут хранения относятся к рыбе отличного качества; через 39 сут – удовлетворительного качества. Образцы карпа, обработанные дозами 4; 9; 10 и 12 кГр, при хранении можно оценить как продукт неудовлетворительного качества.

Таким образом, охлажденная рыба (каarp обыкновенный отечественного производства), обработанная дозой до 3 кГр, соответствует требованиям ГОСТ 814-96.

Для комплексной оценки качества охлажденной рыбы требуется дальнейшее исследование физико-химических показателей и показателей безопасности, которое проводилось по рыбе, обработанной дозой ионизирующего излучения до 3 кГр, согласно результатам проведенной органолептической оценки.

4.2.2 Пищевая ценность охлажденной рыбы

Химический состав рыбы дифференцируется от вида, возраста, среды обитания, времени вылова и других факторов. Карп обыкновенный по содержанию общего белка относится к белковой рыбе.

Рыба свежая и продукты ее переработки, морепродукты являются ценным источником полноценного легкоусвояемого (до 97 %) пищевого белка. Наиболее ценные виды белков – альбумин, миоглобин, L-ихтулин. Биологическая ценность белков рыбы обусловлена оптимальным аминокислотным составом и сопоставима с куриным белком, а по содержанию лизина, триптофана и аргинина превосходит куриный белок. Аминокислоты представляют собой производные органических кислот, содержащие в радикале одну или несколько аминогрупп (NH_2). Аминокислотный состав рыбы и мяса убойных животных схож (они содержат все незаменимые аминокислоты в сбалансированном составе), при этом рыба отличается высоким содержанием метионина и цистина, что позволяет отнести ее к пищевым продуктам с липотропными свойствами. Высокое содержание лизина и аргинина позволяет использовать рыбу в детском питании. Метионин, лизин и триптофан улучшают усвоение пищи. Усвояемость белков рыбы приближается к 90 %.

Вкус мяса рыбы менее выражен по сравнению с мясом убойных животных; в мясе рыбы мало пуриновых соединений (основа нуклеиновых кислот), производных имидазола и холина, что обеспечивает отличие вкуса и запаха.

Пищевая и биологическая ценность охлажденной рыбы во многом определяется соотношением белков и жиров. С увеличением дозы облучения до 3 кГр в образцах карпа снижается содержание воды – на 2,2 % до $(76,01 \pm 0,09)$ % и содержание жира – на 0,22 % до $(5,14 \pm 0,01)$ % по сравнению с образцами, не подвергнутыми воздействию ионизирующего излучения; зафиксировано незначительное увеличение содержания белка (на 0,01 %), что может быть обусловлено увеличением сухого остатка в продукте (таблица 42).

Таблица 42 – Содержание отдельных нутриентов в образцах охлажденного карпа до и после обработки ионизирующим излучением, % ($M \pm m$) ($p \leq 0,05$)

Показатель	Доза облучения, кГр			
	0	1	2	3
Белок	$15,35 \pm 0,01$	$15,35 \pm 0,02$	$15,35 \pm 0,01$	$15,36 \pm 0,01$
Жир	$5,36 \pm 0,01$	$5,26 \pm 0,01$	$5,22 \pm 0,01$	$5,14 \pm 0,01$
Вода	$78,21 \pm 0,12$	$77,68 \pm 0,09$	$77,07 \pm 0,08$	$76,01 \pm 0,09$

Экспериментальным путем установлено, что через 10 сут хранения в необработанных образцах карпа обыкновенного содержание воды снижается на 0,20 %; через 39 сут хранения в образцах, обработанных дозами 1; 2 и 3 кГр, – на 2,65; 2,24 и 2,13 % соответственно по сравнению с исходными значениями (таблица 43). Аналогичные результаты получены при исследовании содержания жира на таком же сроке хранения по сравнению с моментом постановки на эксперимент: в необработанных образцах оно снижается на 0,13 %, в обработанных дозами 1; 2 и 3 кГр – на 0,44; 0,39 и 0,51 % соответственно за счет разрушения триглицеридов жировой ткани с накоплением свободных жирных кислот.

Таблица 43 – Содержание отдельных нутриентов в необработанных и обработанных разными дозами ионизирующего излучения образцах охлажденного карпа в процессе хранения, % ($M \pm m$) ($p \leq 0,05$)

Показатель	Продолжительность хранения, сут				
	0	10	20	30	39
Без обработки ионизирующим излучением					
Белок	15,35 ± 0,01	15,12 ± 0,02	Не исследовано	Не исследовано	Не исследовано
Жир	5,36 ± 0,01	5,23 ± 0,01	Не исследовано	Не исследовано	Не исследовано
Вода	78,21 ± 0,12	78,01 ± 0,12	Не исследовано	Не исследовано	Не исследовано
После обработки дозой 1 кГр					
Белок	15,35 ± 0,02	15,32 ± 0,03	15,28 ± 0,01	15,10 ± 0,02	14,81 ± 0,02
Жир	5,26 ± 0,01	5,25 ± 0,01	5,17 ± 0,01	5,06 ± 0,01	4,82 ± 0,03
Вода	77,68 ± 0,09	76,79 ± 0,10	76,05 ± 0,04	75,43 ± 0,06	75,03 ± 0,08
После обработки дозой 2 кГр					
Белок	15,35 ± 0,01	15,33 ± 0,01	15,30 ± 0,02	15,20 ± 0,02	14,92 ± 0,03
Жир	5,22 ± 0,01	5,20 ± 0,02	5,16 ± 0,01	5,02 ± 0,01	4,83 ± 0,04
Вода	77,07 ± 0,08	76,21 ± 0,03	75,85 ± 0,05	75,21 ± 0,09	74,83 ± 0,11
После обработки дозой 3 кГр					
Белок	15,36 ± 0,01	15,34 ± 0,02	15,31 ± 0,02	15,26 ± 0,01	15,01 ± 0,03
Жир	5,14 ± 0,01	5,06 ± 0,03	4,94 ± 0,01	4,85 ± 0,01	4,63 ± 0,02
Вода	76,01 ± 0,09	75,33 ± 0,03	74,98 ± 0,06	74,02 ± 0,04	73,88 ± 0,02

В процессе хранения снижается содержание белка. Сохранность белкового компонента служит одним из показателей срока годности рыбы. В необработанных образцах карпа охлажденного через 10 сут хранения установлено уменьшение содержания белка на 0,23 %, после обработки дозами от 1 до 3 кГр через 39 сут хранения содержание белка уменьшилось соответственно на 0,54; 0,43 и 0,35 % с

высоким коэффициентом достоверности 0,85–0,91 (таблица 36, рисунок П.1 в приложении П). Полученные данные согласуются с рядом исследований, показавших, что обработка рыбы дозами 0; 5; 10; 20 и 50 кГр незначительно влияет на изменение химического состава [367], что сопоставимо с другими методами (консервация, варка, жарка), при этом возникшие радиолитические продукты и свободные радикалы также идентичны [380].

Традиционно сбалансированность аминокислотного состава белка изучается по аминокислотному составу, БКП и АКС. Для установления влияния ионизирующего излучения на качественные показатели сбалансированности аминокислотного состава различных видов охлажденной рыбы и их изменение в процессе хранения были проведены комплексные исследования. АКС необработанной рыбы охлажденной исследован до 10 сут хранения, АКС обработанной рыбы – до 30 сут хранения в соответствии с результатами органолептической оценки.

После обработки карпа охлажденного дозой 3 кГр установлено незначительное снижение общего количества аминокислот – на 0,40 %, в том числе незаменимых – 0,20 %, заменимых – 0,58 %, что согласуется с данными [14]. Наибольшее уменьшение содержания аминокислот отмечается по аланину и гистидину, наименьшее – по изолейцину и лицину (приложение П, таблица П.3) ($p \leq 0,05$).

Белки охлажденной рыбы являются сбалансированными по аминокислотному составу. Доминируют среди незаменимых аминокислот лизин, среди заменимых – глутаминовая и аспарагиновая кислоты, что согласуется с данными [130].

В процессе хранения происходит автолиз белков, что приводит к увеличению количества экстрактивных веществ. Свободные аминокислоты относятся к одной из групп азотистых экстрактивных веществ, которые формируют вкус и запах рыбы. Согласно исследованиям обработка рыбы разных видов дозой 12 кГр вызывает различное изменение аминокислотного состава: в тилапии увеличивается содержание ряда аминокислот, а в скумбрии – снижается. Данная тенденция прослеживается и после обработки в процессе хранения [316].

Оценка биологической ценности белковых компонентов проводилась по ряду критериев, предложенных авторами [111; 113; 114; 144; 202] и основанных на

принципах Митчелла – Блока. Результаты сравнительной оценки сбалансированности аминокислотного состава охлажденного карпа до и после обработки дозой 3 кГр представлены в таблице 44.

Таблица 44 – Аминокислотный скор белков карпа до и после обработки ионизирующим излучением, %

Аминокислота	Доза облучения, кГр	
	0	3
Валин	107,22	107,04
Изолейцин	115,60	115,45
Лейцин	162,80	162,63
Лизин	217,57	216,79
Метионин+цистин	137,43	137,14
Треонин	116,69	116,43
Триптофан	120,84	121,20
Фенилаланин+тирозин	126,67	126,17
<i>Итого</i>	<i>143,43</i>	<i>143,10</i>

АКС во всех образцах рыбы имеет значение более 100 %, что обеспечивает полное покрытие суточной потребности в незаменимых аминокислотах. Однако воздействие ионизирующего излучения приводит к незначительному снижению АКС охлажденной рыбы – на 0,406 %.

БКП, характеризующий биологическую полноценность мышечной ткани, после обработки ионизирующим излучением не изменился.

Аминокислотный индекс обработанных образцов незначительно выше, чем необработанных: по соотношению НАК/ЗАК – на 0,003 п., НАК/∑АК – на 0,001 п. ($p \leq 0,05$). При дозах облучения 0; 5; 10; 20 и 50 кГр аминокислотный индекс НАК/ЗАК отличается достаточным постоянством [367], что сопоставимо с результатами наших исследований.

Более низкие значения КРАС после обработки ионизирующим излучением (на 1,87 %) обеспечивают более высокие значения биологической ценности белка по сравнению с необработанными образцами карпа. Обработка образцов охлажденной рыбы приводит к увеличению БЦ на 1,87 %. Коэффициент утилитарности

аминокислотного состава в исследуемых образцах характеризует высокую степень сбалансированности незаменимых аминокислот по отношению к физиологической норме по «идеальному» (эталонному) белку. После обработки ионизирующим излучением коэффициент утилитарности остался неизменным. Коэффициент сопоставимой избыточности содержания незаменимых аминокислот в белковом компоненте показывает количество незаменимых аминокислот, не используемых на анаболические цели из-за несбалансированности аминокислотного состава. Обработка образцов вызывала несущественное изменение данного показателя, который уменьшился на 0,001 п. ($p \leq 0,05$) (таблица 45).

Таблица 45 – Качественная оценка сбалансированности аминокислотного состава белков карпа до и после обработки ионизирующим излучением

Показатели оценки сбалансированности аминокислотного состава	Доза облучения, кГр	
	0	3
Общая сумма аминокислот, мг/100 г продукта	15 072,09	15 012,20
Содержание незаменимых аминокислот, мг/100 г продукта	7 286,29	7 271,53
Содержание заменимых аминокислот, мг/100 г продукта	7 785,80	7 740,67
БКП	4,452	4,452
НАК/ЗАК	0,936	0,939
НАК/ΣАК	0,483	0,484
АКС, %	143,502	143,096
КРАС, %	30,89	29,02
БЦ, %	69,11	70,98
<i>KU</i>	0,748	0,748
<i>KG</i>	0,122	0,121

Исследование качественных показателей аминокислотного состава проводилось для образцов необработанного карпа до 10 сут хранения согласно результатам органолептической оценки охлажденной рыбы; для карпа, обработанного дозой 3 кГр, – до 30 сут хранения (таблица 46).

Через 10 сут хранения образцы, обработанные дозой 3 кГр, имеют более высокие значения, чем необработанные, в том числе по общему содержанию незаменимых аминокислот – на 1,73 %, БКП – на 0,0001 п., биологической ценности – на 0,32 %.

Таблица 46 – Качественная оценка сбалансированности аминокислотного состава белков карпа в процессе хранения

Показатели оценки сбалансированности аминокислотного состава	Продолжительность хранения, сут					
	0		10		20	
	Необработанные образцы			Образцы, обработанные дозой 3 кГр		
Общая сумма аминокислот, мг/100 г продукта	15 072,09	14 735,44	15 012,20	14 981,87	14 799,44	14 685,51
Содержание незаменимых аминокислот, мг/100 г продукта	7 286,29	7 137,66	7 271,53	7 260,90	7 177,06	7 125,22
Содержание заменимых аминокислот, мг/100 г продукта	7 785,80	7 597,78	7 740,67	7 720,97	7 622,38	7 560,29
БКП	4,452	4,451	4,452	4,452	4,453	4,454
НАК/ЗАК	0,9358	0,9394	0,9390	0,9404	0,9416	0,9425
НАК/ΣАК	0,4834	0,4844	0,484	0,4846	0,4850	0,4852
АКС, %	143,502	143,755	143,096	143,096	141,645	141,114
КРАС, %	30,89	31,21	29,02	30,89	30,83	31,50
БЦ, %	69,11	68,79	70,98	69,11	69,17	68,50
<i>KU</i>	0,748	0,749	0,748	0,747	0,747	0,742
<i>KG</i>	0,122	0,121	0,121	0,122	0,122	0,125

Через 30 сут при сохранении высоких показателей сбалансированности белка отмечается незначительное изменение ряда показателей: общая сумма аминокислот снижается на 2,18 %, в том числе незаменимых – на 2,01 %, что ведет к незначительному увеличению БКП, аминокислотного индекса и АКС; на 2,48 % уменьшается биологическая ценность.

В результате исследований установлено, что в необработанных образцах карпа охлажденного через 10 сут хранения значение аминокислотного индекса НАК/ЗАК снижается на 0,0036 п., а в обработанных дозой 3 кГр образцах через 30 сут хранения – увеличивается на 0,0035 п. по сравнению с моментом постановки на опыт (рисунок 73).

Таким образом, обработка карпа обыкновенного охлажденного дозой ионизирующего излучения до 3 кГр обеспечивает высокие показатели сбалансированности аминокислотного состава и биологической ценности белка в процессе хранения до 30 сут. Лимитирующая аминокислота не установлена, наименьший скор – по валину. После обработки ионизирующим излучением значения качественных показателей (БКП, БЦ, аминокислотный индекс) выше, чем в необработанных образцах.

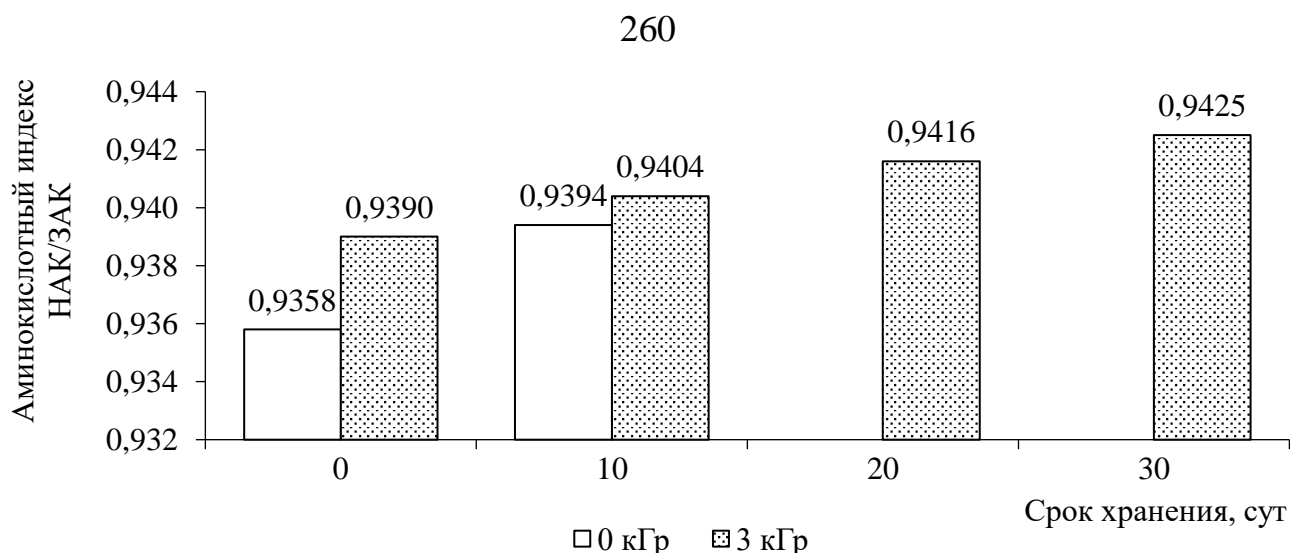


Рисунок 73 – Аминокислотный индекс белков мышечной ткани карпа в процессе хранения

4.2.3 Исследование показателей свежести охлажденной рыбы

Количество амино-аммиачного азота в результате воздействия деаминазы на белок является показателем свежести рыбы. Значение ААА необработанного карпа при норме для свежей рыбы 40 мг/100 г составляло соответственно 22,3; 66,6; 81,8 и 86,0 мг/100 через 10; 20; 30 и 39 сут хранения (рисунок 74). Полученные результаты согласуются с товароведной оценкой показателей свежести охлажденной рыбы, обработанной ионизирующим излучением.

В жире рыбы содержится много ненасыщенных жирных кислот, которые подвергаются гидролитическим и окислительным процессам, что приводит к изменению запаха, вкуса и консистенции [105]. Мышечная ткань карпа является источником олеиновой кислоты $C_{18:1}$ (омега-9) – до 2,1 %, пальмитолеиновой кислоты $C_{16:1}$ – до 0,35 %, линолевой кислоты $C_{18:2}$ (омега-6) – до 0,26 %. Непредельные жирные кислоты определяют жидкую консистенцию рыбьего жира и его усвояемость.

Важными показателями доброкачественности рыбьего жира являются кислотное и перекисное числа.

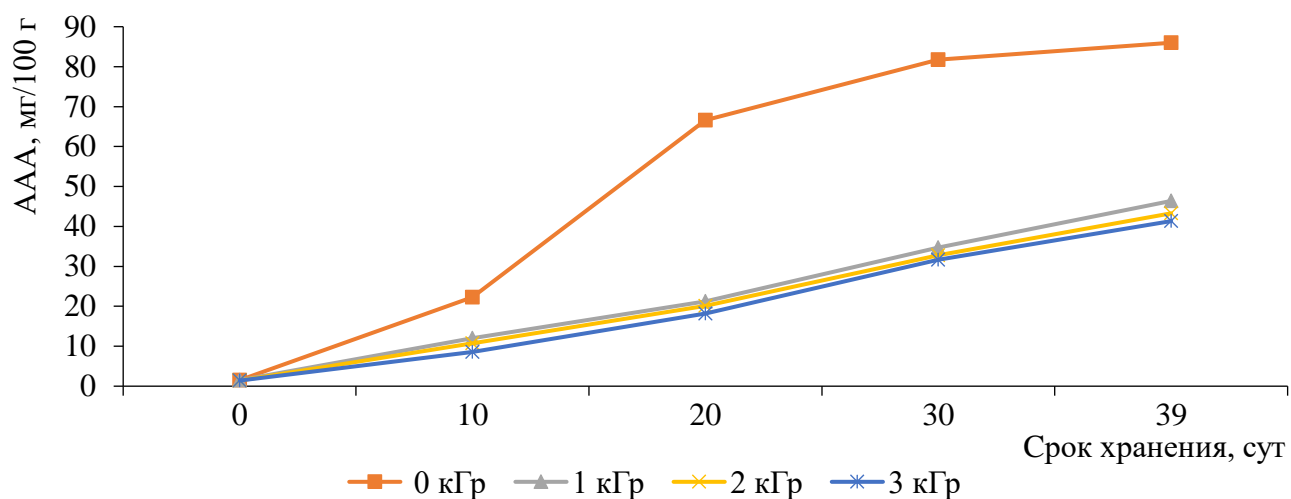


Рисунок 74 – Содержание ААА в мышечной ткани карпа охлажденного в процессе хранения, мг/100 г

На рисунке 75 представлена динамика кислотного числа липидов обработанных образцов охлажденного карпа в процессе хранения. КЧ в образцах, обработанных дозами 1; 2 и 3 кГр, через 30 сут хранения составляет 1,6; 1,7 и 1,9 мг КОН/г, что соответствует показателям доброкачественной рыбы; через 39 сут – 2,6; 2,7 и 2,8 мг КОН/г при норме для свежей рыбы не более 4,0 мг КОН/г, что ниже значения необработанных образцов (4,1 мг КОН) на 57,6; 51,9 и 46,4 % соответственно ($p \leq 0,05$).

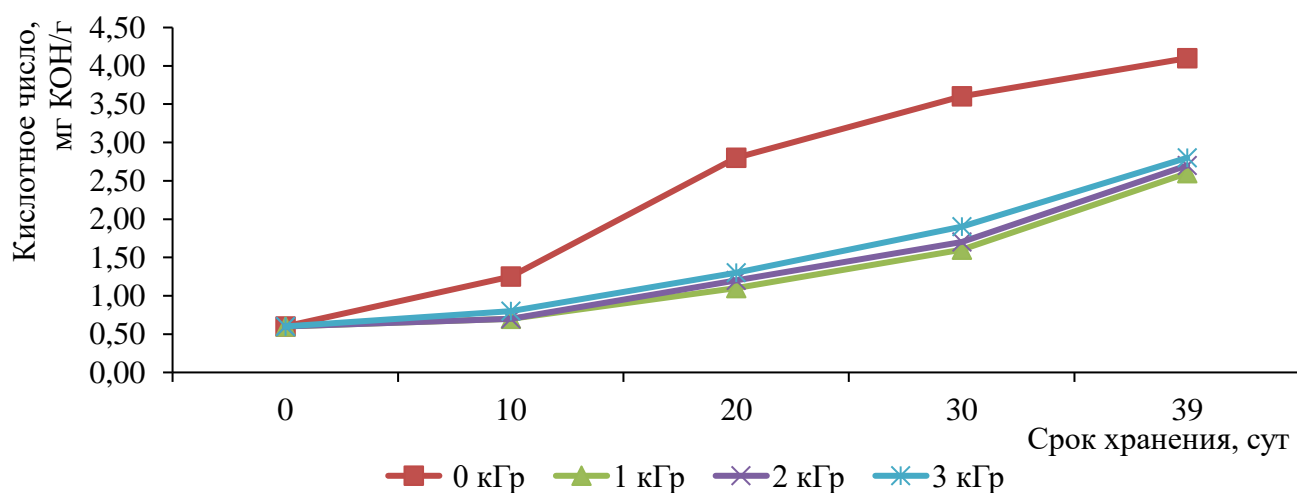


Рисунок 75 – Кислотное число липидов в процессе хранения карпа охлажденного, мг КОН/г

Перекисное число липидов в образцах карпа, обработанных дозами 1; 2 и 3 кГр, через 30 сут хранения составляет 3,1; 3,7 и 4,2 ммоль активного кислорода/кг жира, что соответствует показателям доброкачественной рыбы; через 39 сут – 5,4; 5,6 и 5,8 ммоль активного кислорода/кг жира при норме для свежей рыбы не более 10,0, что ниже значений необработанных образцов в 1,81; 1,75 и 1,69 раза соответственно ($p \leq 0,05$) (рисунок 76).

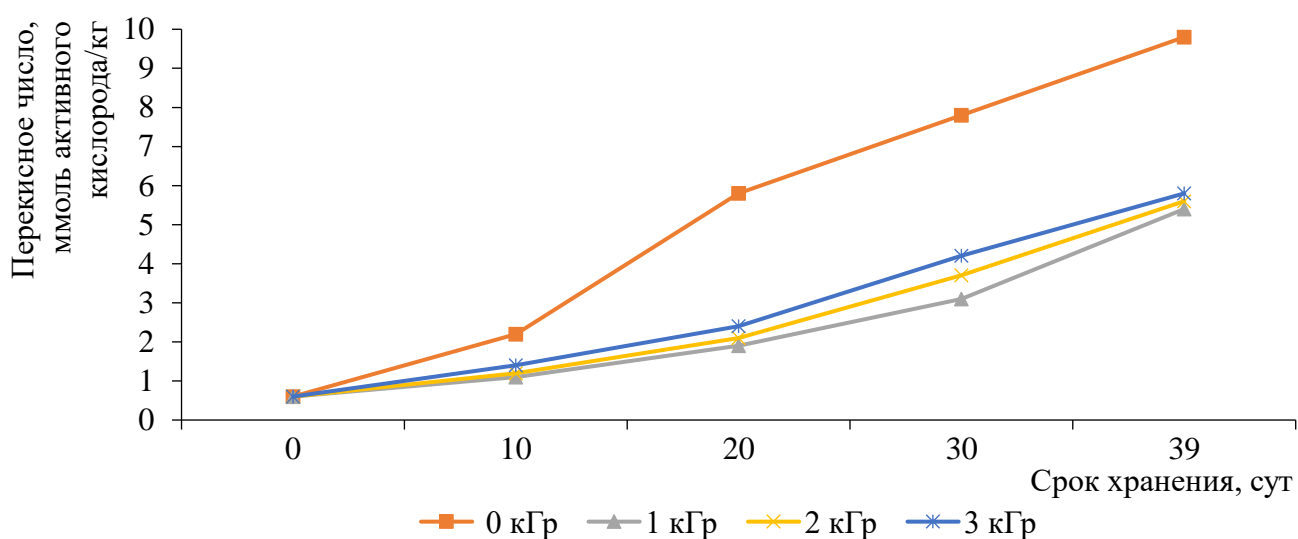


Рисунок 76 – Перекисное число липидов в процессе хранения карпа охлажденного, ммоль активного кислорода/кг жира

С увеличением дозы облучения охлажденной рыбы увеличиваются кислотное и перекисное числа липидов. Так, ПЧ в образцах обработанных дозой 3 кГр, через 10; 20; 30 и 39 сут хранения выше, чем в обработанных дозой 1 кГр, на 27,3; 26,3; 35,5 и 7,4 % соответственно; КЧ выше на 14,3; 18,2; 18,8 и 7,7 %.

На основании проведенных исследований установлено, что обработка охлажденного карпа дозами ионизирующего излучения до 3 кГр позволяет обеспечивать высокое качество на всем периоде хранения до 30 сут, через до 39 сут значения КЧ и ПЧ характерны для рыбы с первоначальными признаками сомнительной свежести. Полученные данные соответствуют органолептической оценке карпа охлажденного.

4.2.4 Исследование микробиологических показателей охлажденной рыбы

В настоящее время многочисленными исследованиями определены оптимальные дозы, которые позволяют достичь снижения микробиологической обсемененности и продлить сроки хранения обработанной рыбы, – от 0,83 до 3 кГр при хранении до 1 мес. в условиях низких плюсовых температур в зависимости от вида рыб: сельдь хранится до 10–14 сут при температуре 2 °С; морской окунь – до 25–28 сут при 0,6 °С; скумбрия – до 30–35 сут при 0,6 °С [325; 369; 461; 462].

Гибель клеток микроорганизмов под действием ионизирующего излучения обусловлена повреждением генетического материала – нарушением структуры молекул ДНК, которое влечет за собой нарушение генеративных функций клеток. В то же время максимально допустимые дозы облучения, используемые для обработки охлажденной рыбы, в разных странах неодинаковы. Так, для стран Америки (США, Канада, Бразилия) максимально допустимой дозой является 2,2 кГр, а для стран ЕС (Англия, Франция, Нидерланды) – 3,0 кГр [90].

Слизь (слен), покрывающая поверхность рыбы, жабры и кишечник (если рыба хранится в неразделанном виде), является хорошей питательной средой для размножения микроорганизмов. Рыхлая консистенция мышечной ткани рыб также способствует быстрому распространению микроорганизмов. Обсемененность микроорганизмами может составлять до 10^2 – 10^4 бактерий на 1 см² поверхности [105]. Гниение как глубокий распад белков и продуктов гидролиза белка с образованием полипептидов и аминокислот, является основным процессом микробиологической порчи, протекающим в рыбе в основном под воздействием гнилостных бактерий группы псевдомонады (*Pseudomonas fluorescens*, *Pseudomonas aeruginosa*).

Установлено, что обработка рыбного филе гамма-излучением в диапазоне доз от 1 до 4 кГр отличается высокой эффективностью по сравнению с традиционными методами хранения за счет сокращения обсемененности патогенной и условно-патогенной микрофлорой. Дозы 3 кГр достаточно для инактивации *S. aureus* и *E. coli*, дозы 4 кГр – *Listeria monocytogenes* без изменения химических

свойств рыбы [452]. Применение гамма-излучения и рентгеновских лучей для уничтожения в рыбе патогенных штаммов бактерий, в частности вибрионов, становится альтернативой термической обработке [452].

Гигиенические требования безопасности пищевых продуктов определяются СанПиН 2.3.2.1078-01, техническими регламентами ТР ТС 021/2011 и ТР ЕАЭС 040/2016. В результате проведенных микробиологических исследований карпа охлажденного в процессе хранения установлено, что бактерицидный эффект воздействия ионизирующего излучения достигается начиная с дозы 1 кГр (приложение П, таблица П.4). Так, после 30 сут хранения все образцы карпа, обработанные ионизирующим излучением, соответствовали требованиям нормативно-технической документации, в то время как в необработанных образцах через 20 сут КМАФАНМ достигло критичного уровня и составляло $9,9 \cdot 10^4$ КОЕ/г. Данная закономерность прослеживается на периоде хранения до 30 и 39 сут в необработанных образцах рыбы. Через 39 сут хранения в обработанных дозами 1; 2 и 3 кГр образцах карпа КМАФАНМ составило $5,2 \cdot 10^4$; $2,6 \cdot 10^4$ и $1,5 \cdot 10^3$ соответственно, что обеспечивает безопасность рыбы согласно требованиям ТР ТС 021/2011 и ТР ЕАЭС 040/2016.

Эффективность обработки ионизирующим излучением сразу после ее завершения и через 10 сут хранения для всех обработанных образцов карпа охлажденного составляет 100 %; через 20 сут хранения при дозе 1 кГр – 99,9 %, при 2 и 3 кГр – 100 %; через 30 сут при дозе 1 кГр – 95,3 %, при 2 и 3 кГр – 99,9 %; через 39 сут при дозе 1 кГр – 80,0 %, при 2 кГр – 99,0 %, при 3 кГр – 99,9 %. Полученные результаты доказывают высокую эффективность обработки ионизирующим излучением охлажденной рыбы, в том числе при обработке более высокой дозой 3 кГр по сравнению с дозами 1 и 2 кГр.

Таким образом, после обработки охлажденного карпа дозами ионизирующего излучения до 3 кГр сохраняются высокие органолептические показатели, обеспечивается сбалансированность аминокислотного состава белка и его высокая биологическая ценность, доброкачественность жиров. Воздействие дозами до 3 кГр при

обеспечении высокого качества увеличивает срок годности карпа до 30 сут с учетом коэффициента запаса.

Все исследуемые образцы охлажденной рыбы по содержанию токсичных элементов соответствовали требованиям ТР ТС 021/2011: содержание свинца – 0,13–0,14 мг/кг; содержание мышьяка – 0,09–0,10 мг/кг; кадмий и ртуть не обнаружены (таблица 47).

Таблица 47 – Содержание токсичных элементов в рыбе охлажденной до и после обработки ионизирующим излучением

Доза облучения, кГр	Токсичный элемент			
	Свинец	Мышьяк	Кадмий	Ртуть
	Допустимый уровень по ТР ТС 021/2011, мг/кг, не более			
	1,0	1,0	0,2	0,3
0	0,13	0,09	Не обнаружен	Не обнаружена
1	0,14	0,10	Не обнаружен	Не обнаружена
2	0,13	0,10	Не обнаружен	Не обнаружена
3	0,14	0,09	Не обнаружен	Не обнаружена

4.2.5 Оценка антиоксидантной активности охлажденной рыбы потенциометрическим методом

Нейтрализация активных кислородных метаболитов (АКМ) таких как радикалы белков и липидов, низкомолекулярных пептидов, нуклеиновых кислот, присутствующих в рыбе, осуществляется антиоксидантной системой, в результате чего устанавливается баланс между интенсивностью процессов перекисного окисления биомолекул и антиокислительной активностью [460; 531]. Важнейшими антиоксидантами в тканях рыб являются каротиноиды, α -токоферол, глутатион, аскорбиновая кислота, мочевины (у хрящевых рыб); при этом антиоксидантная активность тканей молодых рыб выше, чем у особей более старшего возраста, что свойственно и высшим животным [205]. Уровень активности антиоксидантных ферментов

в известной степени зависит от вида рыб, ткани и органа, места обитания, питания и ряда других факторов [296].

По рекомендациям ФАО/ВОЗ доза облучения рыбы не должна превышать 3 кГр. В связи с этим проведены исследования АОА в необработанных и обработанных дозой до 3 кГр образцах рыбы. Коэффициент корреляции между дозой облучения и АОА в образцах мышечной ткани рыбы высокий и составляет для карпа охлажденного 0,97. Наибольшая АОА отмечена в необработанных образцах – $(0,201 \pm 0,009)$ мМ-экв. В обработанной рыбе АОА снижается: при дозе облучения 1 кГр – на 8,6 % до $(0,185 \pm 0,002)$ мМ-экв, при 2 кГр – на 16,2 % до $(0,173 \pm 0,002)$ мМ-экв, при 3 кГр – на 18,9 % до $(0,169 \pm 0,003)$ мМ-экв по сравнению с необработанными образцами ($p \leq 0,05$). С увеличением дозы облучения в образцах карпа АОА снижается с $(0,185 \pm 0,010)$ мМ-экв при 1 кГр до $(0,169 \pm 0,003)$ мМ-экв при 3 кГр, или на 9,5 % ($p \leq 0,05$) (рисунок 77).

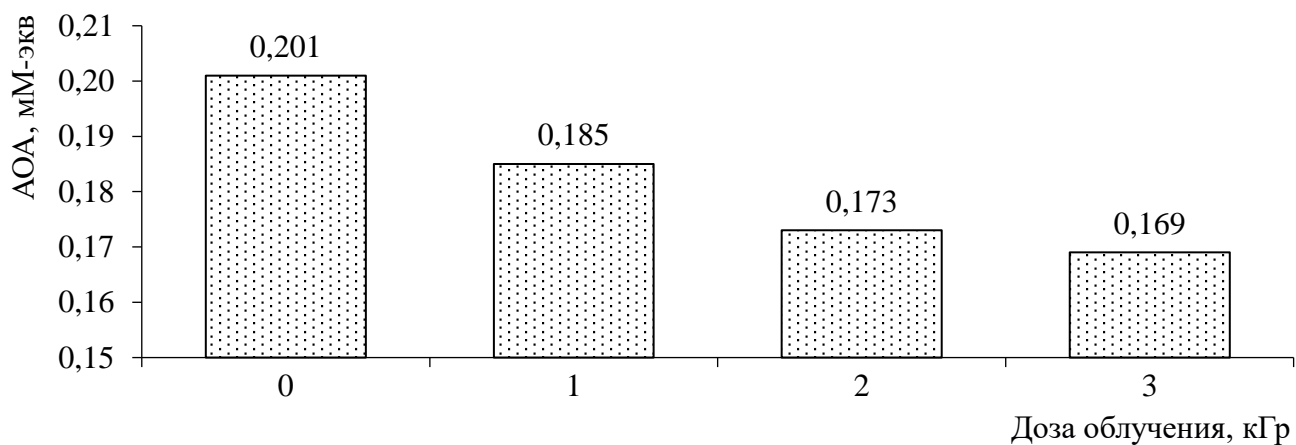


Рисунок 77 – АОА в образцах карпа охлажденного до и после обработки разными дозами ионизирующего излучения, мМ-экв

Через 10 сут хранения отмечается значительное уменьшение АОА необработанных образцов с $(0,201 \pm 0,009)$ до $(0,143 \pm 0,010)$ мМ-экв, или на 40,6 % ($p \leq 0,05$). Через 39 сут АОА образцов, обработанных дозой 3 кГр, снижается с $(0,169 \pm 0,003)$ до $(0,125 \pm 0,003)$ мМ-экв, или на 35,2 % ($p \leq 0,05$) (рисунок 78).

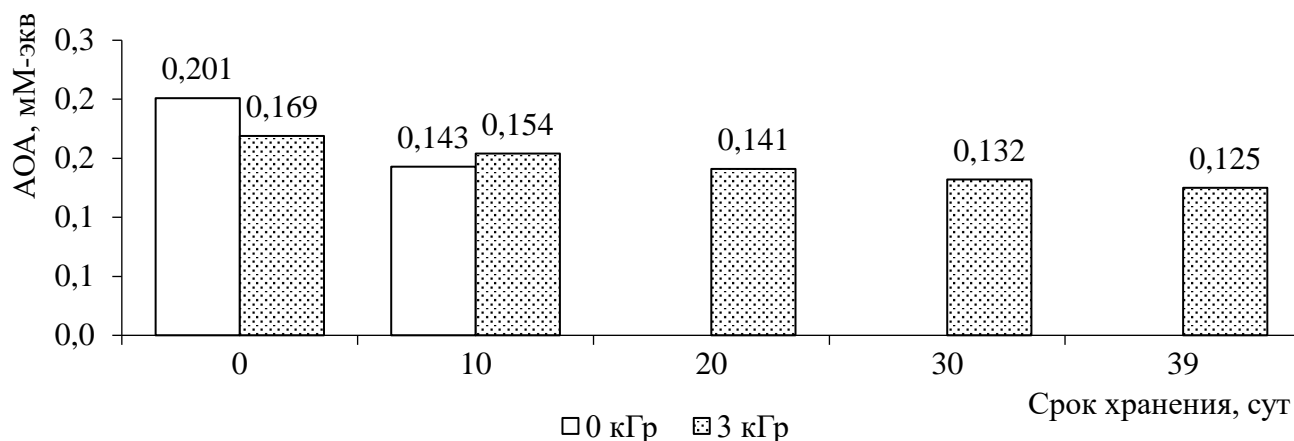


Рисунок 78 – АОА в необработанных и обработанных дозой 3 кГр образцах карпа в процессе хранения

По результатам исследования установлена причинно-следственная связь между дозой облучения и АОА: чем выше доза облучения, тем ниже антиоксидантная активность, при этом в процессе хранения происходит снижение количества антиоксидантов, идущих на нейтрализацию свободных радикалов, что согласуется с ранее установленными данными о существующей взаимосвязи между свободными радикалами и АОА [191].

4.2.6 Исследование теплофизических свойств охлажденной рыбы

При исследовании теплофизических свойств образцов охлажденной рыбы до и после обработки разными дозами ионизирующего излучения установлено, что с увеличением дозы облучения коэффициент температуропроводности увеличивается за счет скорости выравнивания температуры в образцах рыбы. Так, при воздействии на образцы рыбы дозой облучения 1 кГр коэффициент температуропроводности увеличивается по сравнению с необработанными образцами до $(8,9 \pm 0,2) \cdot 10^{-8}$ м²/с, или на 12,7 %; при 2 кГр – до $(9,9 \pm 0,3) \cdot 10^{-8}$ м²/с, или на 25,3 %; при 3 кГр – до $(11,7 \pm 0,3) \cdot 10^{-8}$ м²/с, или на 48,1 %. Анализ экспери-

ментальных значений коэффициента теплопроводности показал, что обработанное ионизирующим излучением мясо рыбы отличается более высокой способностью к проведению количества тепла, соответственно с увеличением дозы облучения повышается коэффициент теплопроводности: на 7,7; 19,2 и 53,8 %. Коэффициент удельной теплоемкости с увеличением дозы облучения с 1 до 3 кГр уменьшается на 18,9 %, что обусловлено снижением содержания влаги и согласуется с исследованиями [222].

Из полученных результатов следует, что обработка дозой ионизирующего излучения до 3 кГр позволяет улучшать теплофизические свойства охлажденного карпа в процессе технологической обработки. Результаты исследования теплофизических свойств карпа охлажденного представлены в таблице 48.

Таблица 48 – Изменение теплофизических свойств мышечной ткани карпа охлажденного до и после обработки разными дозами ионизирующего излучения

Параметр	Доза облучения, кГр			
	0	1	2	3
Коэффициент температуропроводности a , м ² /с	$(7,9 \pm 0,2) \cdot 10^{-8}$	$(8,9 \pm 0,2) \cdot 10^{-8}$	$(9,9 \pm 0,3) \cdot 10^{-8}$	$(11,7 \pm 0,3) \cdot 10^{-8}$
Коэффициент теплопроводности λ , Вт/(м·К)	$0,26 \pm 0,01$	$0,28 \pm 0,03$	$0,31 \pm 0,01$	$0,40 \pm 0,01$
Коэффициент удельной теплоемкости c , Дж/(кг·К)	4487 ± 9	4457 ± 11	4451 ± 11	3750 ± 9
Справочно для рыбы, не обработанной ионизирующим излучением, по: [222]	$a = 11,3 \cdot 10^{-8}$ м ² /с, $\lambda = 0,44$ Вт/(м·К), $c = 3864$ Дж/(кг·К)			

Таким образом, интенсивное аккумуляирование энергии ионизирующего излучения обработанными образцами охлажденного карпа позволяет ускорять тепловые процессы. Полученные в рамках исследования результаты следует учитывать в технологических процессах производства рыбных товаров из обработанного ионизирующим излучением карпа охлажденного.

На основании проведенных исследований установлено, что обработка рыбы ионизирующим излучением обеспечивает высокое качество и безопасность пищевого сырья в соответствии с требованиями ТР ТС 021/2011, ТР ЕАЭС 040/2016

и государственных стандартов, а также продление сроков годности. Проведенные комплексные исследования качества и безопасности охлажденной рыбы после обработки ионизирующим излучением имеют большое значение для формирования банка данных оптимальных доз облучения рыбы.

На основании комплексного исследования (органолептическая оценка, исследование химического состава и биологической ценности, показателей свежести, микробиологических показателей и теплофизических свойств) карпа охлажденного, обработанного разными дозами ионизирующего излучения, в процессе хранения до 39 сут предлагается ограничение оптимальной дозы облучения 1–3 кГр (поглощенная доза ОКТ согласно п. 3.4 составляет до 0,1–0,4 кГр, ОМТ – 0,1–0,3 кГр, ОКЧ – 0,1–0,5 кГр), что позволяет сохранить высокое качество с пролонгацией сроков годности до 30 сут в соответствии с высокой степенью (до 99,9 %) эффективности обработки ионизирующим излучением и низкими показателями свежести (ААА, ПЧ и КЧ). При этом обеспечиваются высокие показатели сбалансированности аминокислотного состава, биологической ценности белка и его полноценность. Теплофизические показатели образцов рыбы, обработанной ионизирующим излучением, за счет увеличения скорости отвода тепла после обработки способствуют уменьшению микробиологической обсемененности, что влияет на замедление скорости размножения микроорганизмов. Полученные экспериментальные результаты позволяют предложить ограничение дозы облучения для охлажденного карпа до 3 кГр с целью сохранения биологической ценности белка и возможности продления срока годности с 12 до 30 сут (в 2,5 раза) при температуре от 0 до минус 2 °С относительно требований нормативно-технической документации [223].

Согласно проведенным исследованиям по влиянию ионизирующего излучения на сохраняемость пищевой продукции животного происхождения установлено, что обработанные дозой ионизирующего излучения 10 кГр образцы говядины и мяса косули, обработанные дозой 9 кГр образцы свинины и мяса птицы, обработанные дозой 8 кГр образцы шейки свинной, обработанные дозой 3 кГр образцы карпа охлажденного при хранении до 30 сут сохраняют высокие значения органолептических показателей, соответствуют по микробиологическим показателям, показателям свежести (ААА, КЧ и ПЧ) и содержанию токсичных элементов требованиям ТР ТС 021/2011, ТР ТС 034/2013, ТР ЕАЭС 040/2016 и нормативно-технической документации.

Изменения пищевой ценности после обработки разными дозами ионизирующего излучения и в процессе хранения пищевой продукции сопоставимы с другими технологиями обработки. Содержание белков после обработки ионизирующим излучением незначительно увеличивается, однако в процессе хранения уменьшается. Образцы рыбы отличаются большей радиочувствительностью.

В результате проведенных исследований установлено, что после обработки мясного сырья разными дозами ионизирующего излучения (3; 9; 10 и 12 кГр):

- в говядине и свинине увеличиваются значения аминокислотного индекса, белкового качественного показателя и биологической ценности белка при незначительном уменьшении общего количества свободных аминокислот;

- в мясе косули увеличиваются значения белкового качественного показателя, аминокислотного индекса и биологической ценности белка при незначительном уменьшении общего количества свободных аминокислот и аминокислотного индекса;

- в мясе птицы увеличиваются значения показателя аминокислотного индекса (до 9 кГр), белкового качественного показателя (до 10 кГр) и биологической ценности белка при незначительном уменьшении общего количества свободных аминокислот.

Высокие показатели сбалансированности аминокислотного состава белка в образцах говядины и мяса косули, обработанных дозой до 10 кГр, и образцах свинины, обработанных дозой до 9 кГр, определяют возможность удовлетворения суточной потребности человека в незаменимых аминокислотах; в обработанных дозой до 9 кГр образцах мяса птицы – также во всех незаменимых аминокислотах, кроме валина. Увеличение коэффициента утилитарности аминокислотного состава белка и уменьшение коэффициента сопоставимой избыточности с увеличением дозы облучения свидетельствуют об улучшении усвояемости аминокислот белков говядины, свинины, мяса косули и мяса птицы при их употреблении в пищу.

После обработки охлажденной шейки свинной, упакованной в МГС, разными дозами ионизирующего излучения (8 и 12 кГр) отмечается увеличение значения показателя аминокислотного индекса, биологической ценности и белкового качественного показателя при незначительном уменьшении общего количества свободных аминокислот белка. За счет высоких показателей сбалансированности аминокислотного состава белка в обработанных дозой до 8 кГр образцах определяется возможность удовлетворения суточной потребности человека в незаменимых аминокислотах.

После обработки карпа охлажденного дозой ионизирующего излучения до 3 кГр отмечается увеличение значений показателя аминокислотного индекса, белкового качественного показателя и биологической ценности белка при незначительном уменьшении общего количества свободных аминокислот белка по сравнению с необработанными образцами. Высокие показатели сбалансированности аминокислотного состава белка в обработанных образцах рыбы определяют возможность удовлетворения суточной потребности человека в незаменимых аминокислотах. Уменьшение коэффициента сопоставимой избыточности с увеличением дозы облучения свидетельствуют об улучшении усвояемости аминокислот белка при употреблении рыбы в пищу.

В процессе хранения обработанных ионизирующим излучением образцов мясного и рыбного сырья по сравнению с необработанными образцами при незначительном снижении содержания аминокислот, в том числе незаменимых,

и аминокислотного сора белков, что сопоставимо с другими технологиями обработки и хранения пищевого сырья; установлены более высокие значения белкового качественного показателя и аминокислотных индексов и не установлены лимитирующие аминокислоты в говядине, свинине, шейке свиной, мясе косули и рыбе. В мясе птицы к лимитирующей аминокислоте относится валин как для обработанных ионизирующим излучением, так и для необработанных образцов, а после облучения дозой 12 кГр – треонин. Наименьший скор в говядине, свинине и шейке свиной установлен по группе серосодержащих аминокислот (метионин+цистин), в мясе косули – по треонину, в мясе птицы (кроме лимитирующей аминокислоты) – по треонину, в карпе – по валину.

Мясное сырье – ценный источник полиненасыщенных и мононенасыщенных жирных кислот. При незначительном снижении ПНЖК и МНЖК после обработки ионизирующим излучением в образцах шейки свиной, обработанных дозой 8 кГр, в процессе хранения до 30 сут установлены более высокие показатели соотношения ПНЖК к НЖК, чем в образцах, обработанных дозой 12 кГр.

Таким образом, применение технологии обработки говядины и мяса косули дозой ионизирующего излучения до 10 кГр, свинины и мяса птицы – до 9 кГр, шейки свиной, упакованной в МГС, – до 8 кГр, карпа охлажденного – до 3 кГр при хранении до 30 сут обеспечивает сохранение белкового компонента и повышение биологической ценности белка.

Установлено снижение АОА в обработанных образцах пищевой продукции с увеличением дозы облучения.

ГЛАВА 5. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА СОХРАНЯЕМОСТЬ ПИЩЕВОЙ ПРОДУКЦИИ РАСТИТЕЛЬНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

Исследование пищевой продукции растительного происхождения проводилось: по наименованию (посредством сравнения наименования пищевой продукции согласно требованиям технических регламентов Таможенного союза и нормативных документов с данными маркировки на потребительской упаковке для пряностей молотых и ягод переработанных или в товаросопроводительной документации для неупакованных плодов свежих); при визуальном сравнении внешнего вида пищевых продуктов с признаками, изложенными в соответствующих нормативных документах; при проведении органолептической оценки и исследовании микробиологической обсемененности на соответствие признаков, изложенных в соответствующих технических регламентах Таможенного союза и нормативных документах.

Вопросы сохраняемости пряностей молотых и плодов свежих определяются применяемыми технологиями хранения в соответствии с видом сырья, прогнозируемыми сроками годности, факторами внешней среды (температура, влажность/относительная влажность и др.), а также способами обработки. Безопасность пищевых продуктов растительного происхождения обусловлена рядом показателей, которые должны оставаться неизменными в течение срока хранения: органолептические показатели и показатели безопасности (микробиологическая обсемененность, содержание тяжелых металлов и т. д.). Согласно ТС 021/2011 и МУК 4.2.1847-04 сроки годности и условия хранения устанавливаются изготовителем пищевых продуктов или разработчиком нормативной документации в соответствии с гигиеническими требованиями безопасности и пищевой ценности.

В результате экспериментальных исследований в нашей стране и за рубежом установлено положительное действие ионизирующего излучения на пищевые

продукты в виде обеспечения безопасности, сохранения пищевой ценности и продления сроков годности. Однако в настоящее время применяемые дозы облучения нормативно закреплены только по некоторым видам пряностей согласно ГОСТ 33271-2015. Определенную трудность вызывает отсутствие нормативно-регулирующей информации по срокам годности пищевой продукции растительного происхождения, обработанной ионизирующим излучением. Это обуславливает необходимость обеспечения объективности контроля качества и безопасности пищевых продуктов растительного происхождения.

5.1 Влияние ионизирующего излучения на сохраняемость пряностей в процессе хранения

В соответствии с СанПиН 2.3.2.1324-03 пряности относятся к нескоропортящимся пищевым продуктам, однако подвержены порче под воздействием микроорганизмов и насекомых сообразно месту их произрастания. К наиболее распространенным в сырье для пряностей микроорганизмам относятся спорообразующие бактерии (палочки *Bacillus*, *Clostridia*), вегетативные бактерии (сальмонелла, кишечная палочка *Escherichia coli*, молочнокислые бактерии) и плесневые грибы рода *Penicillium*, *Rhizopus* и *Aspergillus*.

Для увеличения срока годности пряностей, уничтожения и (или) сокращения количества микроорганизмов (КМАФАнМ, плесень, БГКП, сульфитредуцирующие клостридии) применяются технологии обработки ионизирующим излучением. Так, на территории России с января 2017 г. введен межгосударственный стандарт ГОСТ 33271-2015 «Пряности сухие, травы и приправы овощные. Руководство по облучению в целях борьбы с патогенными и другими микроорганизмами», который устанавливает диапазоны минимальных доз облучения для 19 видов пряностей: в частности, черного перца – от 6 до 12 кГр, паприки, красного перца, куркумы – от 3 до

8 кГр, имбиря – от 4 до 8 кГр, что соответствует рекомендуемым дозам по ASTM F 1885-04 «Руководство по облучению сушеных специй, трав, сезонной зелени для подавления патогенных и иных микроорганизмов» (Standard guide for irradiation of dried spices, herbs, and vegetable seasonings to control pathogens and other microorganisms). Выбор дозы облучения определяется степенью зараженности микроорганизмами и требованиями обеспечения безопасности; рассматривается диапазон поглощенных доз от 3 до 30 кГр.

Пряности имеют большое значение в пищевой промышленности и консервировании. Как правило, плесневые грибы, находящиеся на поверхности пряностей, подавляются при дозе облучения от 3 до 6 кГр, количество вегетативных форм бактерий снижается начиная с 4–7 кГр, а число спорообразующих бактерий сокращается до приемлемого уровня при 8–15 кГр [198]. В то же время исследуется возможность применения более высокой минимальной дозы облучения, если количество бактерий, выявленных в результате посева, выше стандартного.

К натуральным источникам вкусоароматических веществ (ароматизаторов) относятся растения и их части. Оценку качества пряностей, маркировки и упаковки проводили согласно требованиям ТР ТС 022/2011 «Пищевая продукция в части ее маркировки»; ГОСТ 28875-90 «Пряности. Приемка и методы анализа»; ГОСТ 29050-91 «Пряности. Перец черный и белый. Технические условия»; ГОСТ Р 51074-2003 «Продукты пищевые. Информация для потребителя. Общие требования»; ГОСТ 33800-2016 «Продукция пищевая обработанная. Общие требования к маркировке»; ГОСТ ISO 5562-2017 «Пряности. Куркума целая и молотая (порошкообразная). Технические условия».

На следующих этапах проводились органолептическая оценка пряностей, исследование физико-химических и микробиологических показателей.

5.1.1 Органолептическая оценка пряностей

Органолептическую оценку пряностей проводили для исследования внешнего вида (формы, цвета), запаха и вкуса посредством органов чувств по пятибалльной шкале. Как необработанные, так и обработанные ионизирующим излучением пряности оценены на 5 баллов. Их органолептическая характеристика представлена в таблице 49.

Таблица 49 – Органолептическая характеристика пряностей

Показатель по ГОСТ 28875-90, 29050-91, 29053-91, ГОСТ ISO 5562-2017	Перец черный молотый (семейство перечных)	Перец белый молотый (семейство перечных)	Куркума (семейство имбирных)	Чили острый (семейство пасленовых)	Чили жгучий (семейство пасленовых)
Страна производства	Вьетнам	Швеция	Индия	Таиланд	Индия
Внешний вид (форма и цвет)	Тонкий порошок темно-серого цвета	Тонкий порошок серовато-кремового цвета	Тонкий порошок яркого оранжево-желтого цвета	Тонкий порошок красного цвета	Тонкий порошок красного цвета
Запах	Свойственный, острый, без посторонних запахов	Свойственный, ароматный, тонкий, без посторонних запахов	Свойственный, ароматный, без посторонних запахов	Свойственный, острый, без посторонних запахов	Свойственный, острый, без посторонних запахов
Вкус	Остро жгучий, горький, перечный	Средне жгучий	С нотками цитрусовой горечи и остроты	Острый, пикантный	Жгучий
Зараженность вредителями и наличие примесей	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует

Представленные образцы пряностей по органолептическим показателям соответствуют требованиям нормативной документации. Для комплексной оценки качества пряностей требуется дальнейшее исследование физико-химических показателей и показателей безопасности.

5.1.2 Пищевая ценность пряностей

Пряности богаты углеводами и, будучи источником эфирных масел, проявляют антиокислительные и бактерицидные свойства. В таблице 50 показано содержание отдельных нутриентов в необработанных и обработанных ионизирующим излучением образцах пряностей.

Таблица 50 – Содержание отдельных нутриентов в образцах пряностей до и после обработки ионизирующим излучением, % ($M \pm m$)

Показатель	Перец черный молотый	Перец белый молотый	Куркума	Чили острый	Чили жгучий
До обработки ионизирующим излучением					
Углеводы	65,96 ± 0,21	65,45 ± 0,21	67,14 ± 0,22	62,86 ± 0,22	63,80 ± 0,20
Вода	10,80 ± 0,13	10,35 ± 0,06	9,89 ± 0,09	9,54 ± 0,10	9,84 ± 0,05
Эфирные масла	0,82 ± 0,01	0,77 ± 0,04	0,94 ± 0,01	0,91 ± 0,03	0,82 ± 0,02
После обработки дозой 12 кГр					
Углеводы	65,95 ± 0,26	65,44 ± 0,31	67,14 ± 0,29	62,85 ± 0,25	63,81 ± 0,22
Вода	10,79 ± 0,18	10,34 ± 0,05	9,89 ± 0,06	9,54 ± 0,11	9,83 ± 0,06
Эфирные масла	0,82 ± 0,02	0,77 ± 0,03	0,93 ± 0,03	0,91 ± 0,02	0,82 ± 0,02

При исследовании химического состава молотых пряностей, которые содержат незначительное количество воды, установлено, что после обработки дозой 12 кГр химический состав перца черного молотого, перца белого молотого, куркумы молотой, чили острого молотого, чили жгучего молотого соответствует требованиям нормативных документов ГОСТ 28875-90, ГОСТ 29050-91 и ГОСТ ISO 5562-2017 с высокой степенью достоверности ($p \leq 0,05$). Сравнительный анализ химического состава образцов пряностей показал отсутствие достоверного влияния ионизирующего излучения на изменение содержания углеводов, эфирных масел и воды.

5.1.3 Исследование микробиологических показателей пряностей

Благодаря содержанию эфирных масел пряности являются своеобразным консервантом, но в то же время сами содержат большое количество спорообразующих микроорганизмов, обладающих высокой термоустойчивостью по сравнению с вегетативными формами. Микроорганизмы, содержащиеся в пряностях, свойственны почве и среде их произрастания, а также выдержали процесс сушки. На количество микроорганизмов влияют следующие факторы: климатические особенности региона выращивания; условия сбора, обработки (технологические особенности), хранения, транспортировки и упаковки. Установлено, что в перце черном и красном молотом при дозе облучения 4 кГр БГКП и плесени полностью погибают, а дрожжи уничтожаются на 96 %. После воздействия дозой 10 кГр в перце черном сохранялось до $1,1 \cdot 10^6$ КОЕ/г выживших спорообразующих бактерий, т. е. эффективность обработки составила 94 %, а в красном перце погибли лишь 48 % спорообразующих бактерий, что может быть связано с высокой резистентностью этой группы микроорганизмов [516].

Немаловажным условием для профилактики повторного заражения после технологического цикла обработки является упаковка пряностей перед обработкой ионизирующим излучением. Микробиологические нормы безопасности для готовых к употреблению пряностей определены требованиями ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции», ТР ТС 029/2012 «Требования безопасности пищевых добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств» и СанПиН 2.3.2.1078-01 «Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов»: в определенной массе продукта не допускается наличие БГКП и патогенных микроорганизмов, в том числе сальмонелл, сульфитредуцирующих клостридий.

Оценку микробиологической обсемененности пряностей осуществляли до и после обработки ионизирующим излучением дозой 12 кГр в процессе хранения до 18 мес. Во всех образцах пряностей не выявлены БГКП, сульфитредуцирующие

кlostридии и патогенные микроорганизмы. Показатели микробиологической безопасности образцов пряностей, которые не подвергались воздействию ионизирующего излучения, соответствовали установленным требованиям при хранении в пределах сроков годности, определенных производителями. После обработки образцов пряностей дозой 12 кГр отмечались более низкие значения КМАФАнМ и плесени по сравнению с необработанными образцами. Так, через 18 мес. хранения в обработанных образцах перца черного КМАФАнМ составило $3,5 \cdot 10^4$ КОЕ/г и плесень – $2,1 \cdot 10^1$ КОЕ/г, а в необработанных – $9,3 \cdot 10^5$ и $1,8 \cdot 10^3$ КОЕ/г соответственно; в обработанных образцах перца белого КМАФАнМ – $4,3 \cdot 10^4$ КОЕ/г и плесень – $2,5 \cdot 10^1$ КОЕ/г, в необработанных – $9,8 \cdot 10^5$ и $2,1 \cdot 10^3$ КОЕ/г соответственно. Аналогичные значения получены по другим исследуемым образцам пряностей. Основные микробиологические показатели обработанных ионизирующим излучением пряностей при хранении до 18 мес. обеспечивают их безопасность для потребителей (приложение Р, таблица Р.1).

Эффективность обработки сразу после ее завершения составляет 100 % для всех образцов пряностей, после 18 мес. хранения остается высокой и равна для перца черного – 96,2 %, перца белого – 95,6 %, куркумы – 94,7 %, чили острого – 96,0 %, чили жгучего – 95,7 %.

Таким образом, обработка ионизирующим излучением предварительно упакованных образцов молотых перца черного, куркумы, перца белого, чили острого и чили жгучего дозой 12 кГр (согласно п. 4.4 поглощенная доза для перечисленных образцов пряностей равна 9,4–9,8; 9,2–9,4; 8,0–9,0; 4,0–4,4 и 4,1–4,3 кГр соответственно) позволяет продлить сроки годности пряностей в 1,5 раза. Обработанные образцы пряностей соответствуют требованиям ТР ТС 021/2011.

По содержанию токсичных элементов все исследуемые образцы молотых пряностей соответствовали требованиям ТР ТС 021/2011: содержание свинца – 0,26–0,32 мг/кг; содержание мышьяка – 0,14–0,16 мг/кг; кадмий не обнаружен (приложение Р, таблица Р.2).

5.1.4 Оценка антиоксидантной активности пряностей потенциометрическим методом

Пряности не относятся к основным видам пищевых продуктов и используются для улучшения вкуса и аромата пищевой продукции. Они добавляются в сырье при производстве колбасных и кондитерских изделий, применяются в консервной промышленности, повышая содержание антиоксидантов. Обладая бактерицидной способностью, они способствуют сохранению пищевых продуктов.

Установлено, что именно в пряностях содержится максимальное количество антиоксидантов. К известным методам оценки интегральной АОА относится метод абсорбционной емкости по отношению к кислородным радикалам – ORAC (Oxygen Radical Absorbance Capacity), позволяющий расположить пряности по содержанию в них антиоксидантов в следующей последовательности: розмарин сушеный > корица > куркума > ваниль > перец белый > перец черный > чили [517]. В зависимости от условий произрастания пряностей значения могут отличаться в большую или меньшую сторону до 10 %.

АОА пряностей обусловлена содержанием в них полифенолов, фенольных кислот, флавоноидов, кверцетина, фитостиролов, токоферолов, каротиноидов и других биологически активных веществ [16]. Вместе с тем обработка пряностей ионизирующим излучением может снизить АОА и, соответственно, их пользу.

Установлена прямая корреляция между дозой облучения молотых пряностей и их АОА. Наибольшая АОА отмечена в пряностях, не подвергавшихся воздействию ионизирующего излучения, мМ-экв: перце черном ($0,464 \pm 0,053$); перце белом ($0,271 \pm 0,026$); куркуме ($0,917 \pm 0,023$); чили острым ($0,336 \pm 0,005$); чили жгучем ($0,258 \pm 0,020$). С увеличением дозы облучения с 3 до 12 кГр АОА снижается: в перце черном – на 33,2 % с ($0,404 \pm 0,006$) до ($0,270 \pm 0,009$) мМ-экв; перце белом – на 53,4 % с ($0,249 \pm 0,001$) до ($0,116 \pm 0,013$) мМ-экв; куркуме – на 38,0 % с ($0,772 \pm 0,011$) до ($0,479 \pm 0,026$) мМ-экв; чили острым – на 44,4 % с ($0,315 \pm 0,018$) до ($0,175 \pm 0,005$) мМ-экв; чили жгучем – на 39,2 % с ($0,222 \pm 0,016$) до

($0,135 \pm 0,015$) мМ-экв ($p \leq 0,05$) (рисунок 79). Увеличение дозы облучения приводит к более значительному снижению АОА. Выявлена высокая степень корреляционной зависимости изменения АОА от дозы облучения: для перца черного – 0,996; перца белого – 0,984; куркумы – 0,985; чили жгучего – 0,994; чили острого – 0,979.

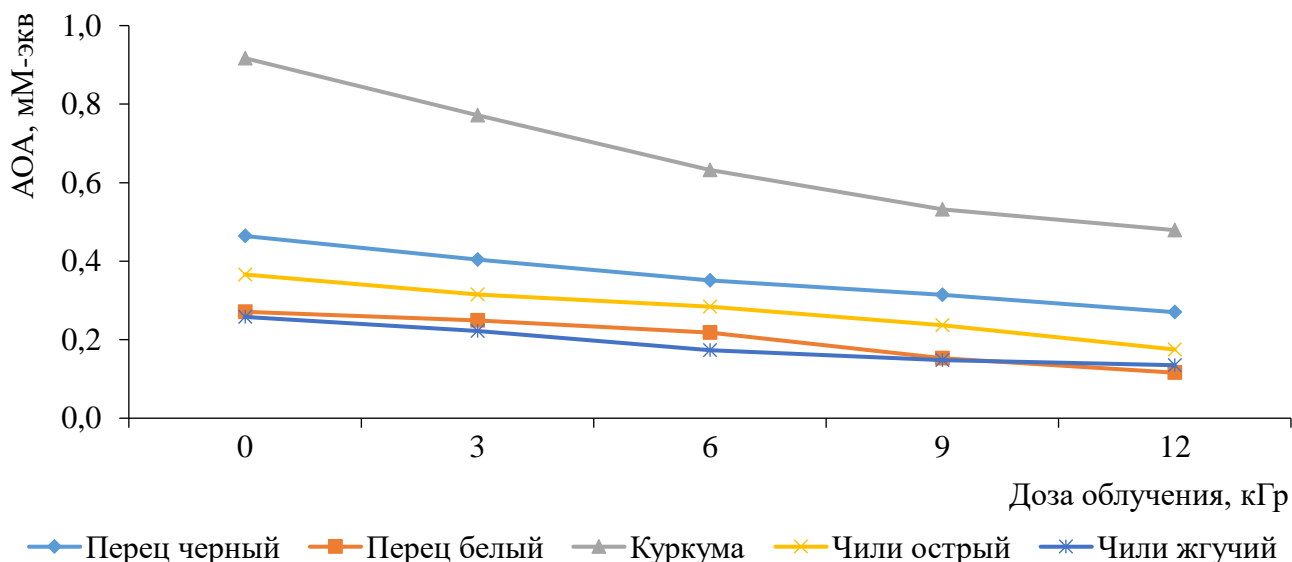


Рисунок 79 – АОА пряностей до и после обработки ионизирующим излучением

К антиоксидантам относятся биологически активные вещества различной химической природы. Вероятный механизм взаимодействия антиоксидантов со свободными радикалами и снижения АОА пряностей связан с тем, что при воздействии на пряности ионизирующего излучения происходит активация цепной реакции свободнорадикального процесса, приводящего к увеличению концентрации свободных радикалов.

Антиоксиданты пряностей вступают во взаимодействие со свободными радикалами, отдают радикалу свой электрон, в результате чего свободный радикал становится нейтральным атомом или молекулой. Тем самым обрываются реакционные цепи. В результате расхода антиоксидантов пряностей на реакцию «поглощения» свободных радикалов происходит достоверное снижение АОА пряностей. Выявлено, что существует обратно пропорциональная связь между дозой

облучения и АОА пряностей при высокой степени силы статистической связи по Чеддоку: чем выше доза облучения, тем меньше концентрация антиоксидантов.

Установлено, что необработанные образцы куркумы молотой, перца черного молотого и чили острого молотого отличаются высокой АОА по сравнению с необработанными образцами перца белого молотого и чили жгучего молотого. Увеличение дозы облучения с 3 до 12 кГр оказывает различное воздействие на изменение АОА, которая в образцах перца черного молотого снижается на 33,2 %; в образцах перца молотого белого – на 53,4 %; куркумы молотой – 38,0 %; чили острого молотого – на 44,4 %; чили жгучего молотого – на 39,2 %. Образцы куркумы молотой отличаются наиболее высокой АОА при обработке ионизирующим излучением по сравнению с другими опытными образцами пряностей.

5.2 Влияние ионизирующего излучения на сохраняемость плодов свежих в процессе хранения

За последние годы в объеме валового сбора урожая плодов, ягод и винограда в России на долю яблок, являющихся ценным пищевым продуктом, приходится 47,7–54,4 %. Длительность хранения плодов, ягод и овощей определяется условиями хранения, обсемененностью микроорганизмами на поверхности и устойчивостью покровных тканей к этим фитопатогенам. При хранении свежих яблок в результате естественных физических, биохимических и химических процессов происходит ухудшение их товарного вида, активизация окислительных процессов, гидролитический распад сложных органических соединений, что приводит к уменьшению содержания витаминов, органических кислот, дубильных веществ, флавоноидов. В процессе дыхания возможно увеличение температуры плодов, что способствует микробиологической порче. Яблоки также подвержены заболеваниям (плодовая, голубая или зеленая плесневидная, серая гниль), первичное заражение которыми происходит в основном на этапе вегетационного роста.

В общемировом масштабе потери свежих плодов и овощей составляют около половины всего выращенного урожая. Поэтому вопросы сохраняемости пищевых ресурсов и применения современных технологий хранения, в том числе обработки ионизирующим излучением, играют важную роль. Еще в 1964 г. Министерство здравоохранения СССР разрешило облучать свежие плоды и ягоды дозами от 2 до 4 кГр [200].

Введенный в нашей стране ГОСТ 33302-2015 «Продукция сельскохозяйственная свежая. Руководство по облучению в целях фитосанитарной обработки» разрешает применение обработки ионизирующим излучением для продления сроков годности и лучшей сохраняемости свежей сельскохозяйственной продукции, определяя достаточно широкий диапазон поглощенных доз (именно поглощенных, а не доз облучения) – от 150 до 600 Гр. При этом стандарт устанавливает возможность изменения указанных границ дозовой нагрузки в зависимости от типа вредителей, подлежащих уничтожению, а также допустимой (без ухудшения качества) дозы облучения для конкретного вида плодов с учетом сорта, региона произрастания, условий выращивания и сбора, времени от момента сбора до момента обработки ионизирующим излучением, но не регламентирует дозы облучения, которые позволили бы максимально сохранить пищевую ценность сельскохозяйственной продукции на определенном сроке хранения [46].

Для растительного сельскохозяйственного сырья эффективность обработки ионизирующим излучением высока при хранении и транспортировке.

В научно-исследовательской литературе не всегда разграничены понятия оптимальной поглощенной дозы и дозы облучения, которые существенно различаются. Поглощенные дозы от 1,75 до 2,25 кГр позволяют увеличить сроки хранения свежих плодов и ягод в 3–5 раз, при этом рекомендуется использовать мощность дозы 3,5–4,0 кГр [14]. Ряд исследователей определяет понятие дозы облучения: так, J. H. Moy (1983) рекомендует обрабатывать яблоки дозой 1–2 кГр; R. J. Romani (1996) утверждает, что обработка яблок дозой более 0,6 кГр приводит к изменению в пигментах, вызывает солюбилизацию пектинов, целлюлозы, гемицеллюлозы, крахмала, в результате плоды становятся более мягкими [454; 480]. Показано, что

эффективность обработки плодов и овощей при хранении в МГС достигается при дозе более 3 кГр [188].

По данным исследований, содержание витамина С в обработанных ультрафиолетовым излучением яблоках свежих сохраняется до 90 сут [357]. Т. G. Dias и др. установили, что при обработке яблок сорта «Гала» малыми дозами ультрафиолетового излучения происходит инаktivация микроорганизмов, доза облучения 4,10 кДж/м² является эффективной. Обработка продукта переработки яблок – яблочного порошка гамма-излучением в диапазоне 0,1–2 кГр показала, что доза 1 кГр обеспечивает наилучшие результаты по АОА и содержанию фенольных соединений; также увеличивается срок годности [410].

В то же время наиболее существенное последствие радиуризации – ослабление сопротивляемости плодов и овощей к инфекционным заболеваниям. И чем выше доза облучения, тем значительнее потери в процессе хранения от грибных и бактериальных гнилей [298].

Таким образом, необходимо проведение экспериментальных исследований по установлению оптимальных доз облучения при их сопоставлении с поглощенными дозами для обеспечения качества и безопасности пищевых продуктов, в частности яблок свежих.

Идентификация яблок свежих проводилась путем сравнения помологического сорта с данными, указанными в товаросопроводительной документации. Оценка пищевых продуктов и изучение маркировки начинается с их идентификации по предоставленной потребителю изготовителем (продавцом) необходимой и достоверной информации согласно ТР ТС 022/2012 «Пищевая продукция в части ее маркировки» и ГОСТ Р 51074-2003 «Продукты пищевые. Информация для потребителя. Общие требования», в соответствии с чем установлена идентичность образцов яблок помологическому сорту «Ренет Платона Симиренко» отечественного производства.

На следующих этапах проводилась органолептическая оценка яблок свежих, исследование физико-химических и микробиологических показателей.

5.2.1 Органолептическая оценка яблок свежих

Органолептическая оценка яблок свежих помологического сорта «Ренет Платона Симиренко» отечественного производства проводилась в соответствии с требованиями ГОСТ 34314-2017 «Яблоки свежие, реализуемые в розничной торговле. Технические условия» для исследования внешнего вида (формы, цвета), запаха и вкуса, состояния мякоти, степени зрелости плода посредством органов чувств. Оценка съемной зрелости определялась согласно ГОСТ 21819-88 «Яблоки свежие. Хранение в холодильных камерах» по совокупности признаков: окраска кожицы плода, степень побурения семян, степень гидролиза крахмала по йодно-крахмальной пробе. При проведении йодно-крахмальной пробы наблюдалось окрашивание под кожицей и незначительное потемнение некоторых участков мякоти яблок. Таким образом, яблоки свежие находились в начальной фазе съемной зрелости. Представленные образцы яблок свежих соответствуют требованиям нормативных документов.

Органолептическая оценка проводилась для установления соответствия органолептических показателей качества яблок свежих, обработанных разными дозами ионизирующего излучения, на разных сроках хранения по пятибалльной системе согласно разработанной шкале, приведенной в таблице 1 в главе 2 настоящего диссертационного исследования. Результаты органолептической оценки представлены в таблице Т.1 (приложение Т) и на рисунке 80.

Необработанные и обработанные дозами 1; 2 и 3 кГр образцы полностью соответствуют свежим яблокам (оценены на 5 баллов), поэтому их органолептические профили совпадают. Образцы, обработанные дозами 4; 9; 10 и 12 кГр, оценены в 3,1; 1,9; 1,5 и 1,1 балла соответственно, отнесены к яблокам плохого качества и не отвечают требованиям нормативной документации.

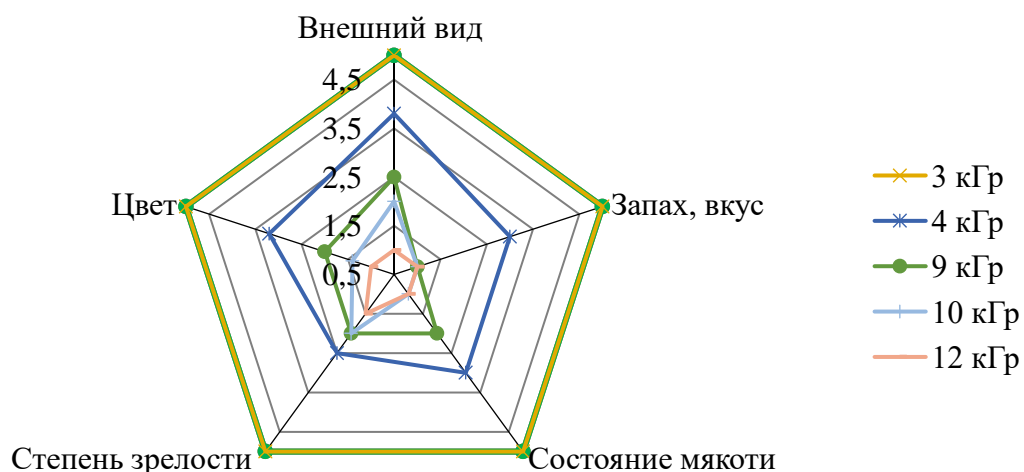


Рисунок 80 – Органолептический профиль яблок свежих после обработки разными дозами ионизирующего излучения, балл

Таким образом, оценка органолептических показателей яблок свежих помологического сорта «Ренет Платона Симиренко» по пятибалльной шкале показала, что необработанные и обработанные дозами 1; 2 и 3 кГр яблоки относятся к категории свежей продукции и полностью соответствуют требованиям (оценены на 5 баллов), характеристика качества – «отлично». Образцы, обработанные дозами более 3 кГр (4; 9; 10 и 12 кГр), отнесены к непригодной для употребления продукции и в дальнейшем не исследовались. В то же время яблоки, обработанные дозами до 3 кГр, соответствуют требованиям нормативно-технической документации. Товароведная оценка свежести необработанных и обработанных дозами 1; 2 и 3 кГр образцов проводилась на протяжении всего периода хранения с учетом коэффициента резерва: через 1; 2; 3; 4; 5 и 6 мес. Обработка дозой ионизирующего излучения до 3 кГр позволяет сохранить высокое качество яблок свежих и способствует пролонгации сроков годности до 6 мес.

Для комплексной оценки качества плодов свежих требуются дальнейшие исследования физико-химических показателей и показателей безопасности.

5.2.2 Пищевая ценность яблок свежих

В необработанных и обработанных дозами 1; 2 и 3 кГр образцах яблок свежих помологического сорта «Ренет Платона Симиренко» отечественного производства в начале эксперимента содержание отдельных нутриентов сопоставимо. При исследовании пищевой ценности яблок установлено, что для образцов, которые не подвергались обработке ионизирующим излучением, характерны более высокие потери воды во время хранения по сравнению с обработанными образцами. После 6 мес. хранения по сравнению с моментом постановки на опыт снижение содержания воды составляет 3,7 % в необработанных образцах яблок, 1,83 % при дозе облучения 1 кГр, 1,81 % – при 2 кГр, 1,81 % – при 3 кГр ($p \leq 0,05$). При этом незначительно снижается содержание углеводов (таблица 51).

Таблица 51 – Содержание отдельных нутриентов в необработанных и обработанных разными дозами ионизирующего излучения образцах яблок свежих в процессе хранения, % ($M \pm m$)

Показатель	Продолжительность хранения, мес.						
	0	1	2	3	4	5	6
Без обработки ионизирующим излучением							
Углеводы	9,00 ± 0,07	9,00 ± 0,03	8,99 ± 0,05	8,88 ± 0,04	8,86 ± 0,03	8,80 ± 0,11	8,75 ± 0,13
Вода	89,90 ± 0,12	89,55 ± 0,10	89,18 ± 0,08	88,89 ± 0,11	88,15 ± 0,19	87,30 ± 0,09	86,20 ± 0,15
После обработки дозой 1 кГр							
Углеводы	9,10 ± 0,08	9,10 ± 0,02	9,10 ± 0,06	9,10 ± 0,02	9,11 ± 0,09	9,10 ± 0,05	9,09 ± 0,01
Вода	89,75 ± 0,11	89,60 ± 0,11	89,29 ± 0,03	88,92 ± 0,16	88,61 ± 0,07	88,24 ± 0,12	87,92 ± 0,09
После обработки дозой 2 кГр							
Углеводы	9,11 ± 0,04	9,11 ± 0,02	9,11 ± 0,03	9,10 ± 0,03	9,10 ± 0,03	9,10 ± 0,04	9,09 ± 0,04
Вода	89,70 ± 0,11	89,53 ± 0,16	89,18 ± 0,11	88,89 ± 0,12	88,59 ± 0,10	88,20 ± 0,16	87,89 ± 0,16
После обработки дозой 3 кГр							
Углеводы	9,14 ± 0,05	9,14 ± 0,05	9,14 ± 0,05	9,13 ± 0,05	9,13 ± 0,05	9,12 ± 0,05	9,11 ± 0,05
Вода	89,67 ± 0,13	89,48 ± 0,15	89,02 ± 0,09	88,77 ± 0,11	88,53 ± 0,09	88,16 ± 0,11	87,86 ± 0,19

Структурный состав углеводов претерпевает изменения как в процессе хранения яблок свежих, так и с увеличением дозы облучения: уменьшается содержание крахмала и увеличивается содержание моно- и дисахаридов при сохранении доли

пищевых волокон (клетчатки). Так, в процессе хранения в обработанных дозой 1 кГр образцах содержание крахмала уменьшается на 33,3 % до 0,6 г; в обработанных дозой 2 кГр – на 60 % до 0,5 г; в обработанных дозой 3 кГр – в 4 раза до 0,2 г.

Яблоки являются ценным источником витамина С (до 10 мг), обеспечивая до 15 % физиологической потребности в аскорбиновой кислоте. Относительные потери витамина С сразу после обработки ионизирующим излучением по сравнению с необработанными образцами составляют от 0,2 до 0,7 % при дозе облучения 1 кГр; от 0,6 до 2,4 % при 2 кГр; от 0,9 до 4,6 % при 3 кГр, что согласуется с данными [91]. При этом после 5–6 мес. хранения уменьшение на 20,5–26,9 % содержания витамина С в плодах, не подвергнутых воздействию ионизирующего излучения, сопоставимо с потерями в обработанных яблоках на таком же сроке хранения: при дозе облучения 1 кГр – на 20,2–26,4 %, при 2 кГр – на 19,0–25,6 %, при 3 кГр – на 17,5–24,4 % (таблица 52).

Таблица 52 – Остаточное содержание витамина С в процессе хранения обработанных разными дозами ионизирующего излучения яблок свежих, % от первоначального содержания

Доза облучения, 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

Таким образом, опытным путем с высокой степенью достоверности установлено, что в процессе хранения происходит незначительное изменение содержания пищевых нутриентов; наиболее значимые отклонения наблюдаются в яблоках, обработанных дозой 3 кГр. Уменьшение содержания витамина С обусловлено увеличением дозы облучения, а также сроками хранения.

5.2.3 Исследование микробиологических показателей яблок свежих

ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции» и СанПиН 2.3.2.1078-01 «Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов» определяют допустимый уровень КМАФАнМ, дрожжей и плесени. Не допускается наличие БГКП и патогенных микроорганизмов, в том числе сальмонелл, в определенной массе пищевого продукта (0,1 и 25 г соответственно). Для свежих плодов одним из значимых факторов микробиологической безопасности является содержание микотоксина патулина (до 0,5 мг/кг), массовая доля которого определяется хроматографическим методом согласно ГОСТ 28038-2013 «Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения микотоксина патулина».

Качественный и количественный состав микрофлоры яблок свежих представлен в таблице Т.2 (приложение Т).

Сроки хранения яблок свежих определяются жизнеспособностью микроорганизмов на их поверхности. Яблоки обладают высокой устойчивостью тканей к фитопатогенным микроорганизмам. Загрязнение патогенными бактериями возможно в результате несоблюдения санитарно-гигиенических норм при перевозке и хранении. Экспериментальным путем ранее было установлено, что применение доз облучения более 3 кГр приводит к ухудшению органолептических показателей яблок свежих. Хотя известно, что для уничтожения поверхностной микрофлоры требуются дозы до 10–15 кГр [198], тем не менее для обработки ионизирующим излучением яблок используются дозы до 3 кГр, которые являются сублетальными для большинства микроорганизмов и позволяют продлить сроки годности на ограниченный период по сравнению с холодильными технологиями [14; 126; 198].

Установлено, что значения микробиологических показателей яблок свежих, не подвергавшихся воздействию ионизирующего излучения, на протяжении срока хранения соответствуют требованиям ТР ТС 021/2011, однако через 6 мес. в образцах яблок обнаружены мезофильные аэробные и факультативно анаэробные микроорганизмы ($5,6 \cdot 10^4$ КОЕ/г), дрожжи ($2,2 \cdot 10^2$ КОЕ/г) и плесени ($1,0 \cdot 10^3$ КОЕ/г)

в количествах, превышающих допустимые уровни. Через 6 мес. хранения в яблоках, обработанных ионизирующим излучением, все исследуемые микробиологические показатели не превышают предельно допустимых уровней. Установлено, что чем выше доза облучения, тем ниже значения микробиологических показателей. Так, дрожжи и плесень обнаружены на поверхности яблок после облучения дозой 1 кГр через 4 мес. хранения – в количестве $0,3 \cdot 10^1$ и $0,8 \cdot 10^1$ КОЕ/г соответственно, при дозе 2 кГр через 5 мес. – $0,5 \cdot 10^1$ и $0,2 \cdot 10^2$ КОЕ/г, КМАФАнМ в яблоках, обработанных ионизирующим излучением, через 6 мес. хранения составляет $0,1 \cdot 10^4$; $0,9 \cdot 10^3$ и $0,4 \cdot 10^3$ КОЕ/г соответственно.

Эффективность обработки сразу после ее завершения для всех образцов яблок составляет 100 %, после 6 мес. хранения остается высокой и составляет 82,1 % для образцов, обработанных дозой 1 кГр, 98,4 % при дозе 2 кГр, 99,3 % при дозе 3 кГр.

Содержание микотоксина патулина во всех образцах яблок свежих на протяжении хранения не превышало регламентируемых значений (до 0,05 мг/кг). Во всех исследуемых образцах имеются следы токсичного элемента свинца и не обнаружены мышьяк, кадмий и ртуть, что соответствует требованиям ТР ТС 021/2011 (приложение Т, таблица Т.3).

Таким образом, обработка ионизирующим излучением яблок свежих помологического сорта «Ренет Платона Симиренко» дозой до 3 кГр (поглощенная доза согласно п. 3.6 настоящего исследования составляет 0,1–1,5 кГр) оказывает положительное влияние на сохраняемость плодов за счет обеспечения низкого уровня микробиальной обсемененности; обеспечивает высокое качество и безопасность пищевой продукции на протяжении хранения с пролонгацией сроков лежкости яблок до 6 мес. в соответствии с требованиями ТР ТС 021/2011. В результате исследований установлена важность соблюдения оптимального режима хранения согласно требованиям ГОСТ 21819-88 «Яблоки свежие. Хранение в холодильных камерах» (температурный режим 1–2 °С при закладке яблок на хранение в начале съемной степени зрелости по ГОСТ Р 50528-93 «Яблоки свежие. Хранение в контролируемой среде»; относительная влажность 90–95 %) для недопущения повторной контаминации свежих плодов.

Полученные экспериментальные данные позволяют предложить ограниченные дозы облучения до 3 кГр с целью продления срока лежкости в 1,2 раза (с 5 до 6 мес.). Проведенные комплексные исследования по обработке ионизирующим излучением яблок свежих на примере помологического сорта «Ренет Платона Симиренко» имеют большое значение для формирования банка данных оптимальных доз облучения свежей сельскохозяйственной продукции.

5.2.4 Оценка антиоксидантной активности яблок свежих потенциометрическим методом

Яблоки являются ценным источником антиоксидантов, которые в соответствии с ГОСТ Р 52349-2005 относятся к основному виду пребиотиков (наряду с ди- и трисахаридами, олиго- и полисахаридами, многоатомными спиртами, аминокислотами и пептидами, ферментами) и обеспечивают благоприятное воздействие на организм человека в результате повышения биологической активности нормальной микрофлоры кишечника. Такие растительные полисахариды, как пектин и пектовая кислота, отличаются высокой биологической активностью [219]. Антиоксиданты свежих яблок: аскорбиновая кислота, бета-каротин, рутин, фенольные соединения – флавоноиды (кверцетин, процианидины, антоцианы, катехины, эпикатехины), хлорогеновая кислота, дубильные вещества, органические кислоты (яблочная, лимонная), играют важную роль в основных физиологических процессах [10; 213].

Имеются данные об увеличении АОО при ультрафиолетовой обработке яблок до 90 сут хранения [357]. А. В. Шабров и др. подчеркивают синергетическое действие антиоксидантов: например, аскорбиновая кислота и витамин Е [299], растительные полисахариды (пектин, пектовая кислота) усиливают АОО клеток за счет активации ферментных систем.

С высокой степенью корреляционной зависимости 0,99 ($p \leq 0,05$) установлено, что яблоках, обработанных ионизирующим излучением, происходит уменьшение АОА по сравнению с необработанными: при дозах 1; 2 и 3 кГр – в 1,2; 1,3 и 1,6 раза соответственно (рисунок 81).

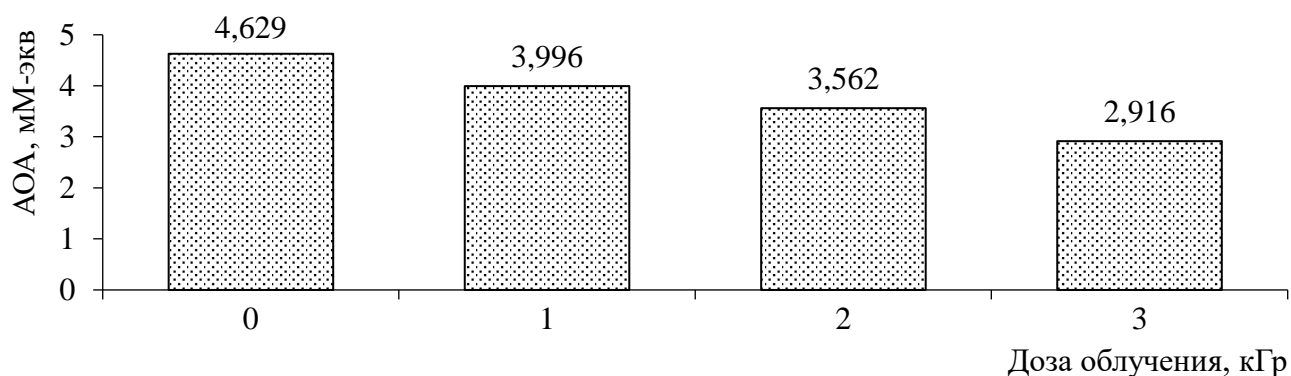


Рисунок 81 – АОА образцов яблок свежих до и после обработки ионизирующим излучением

Достоверно установлено, что что АОА в образцах яблок при хранении до 6 мес. снижается ($p \leq 0,05$): в необработанных образцах – в 1,7 раза (коэффициент Пирсона $r = 0,99$); при дозе облучения 1 кГр – в 1,6 раза ($r = 0,98$); при 2 и 3 кГр – в 1,5 раза при $r = 0,99$ (таблица 53).

Таблица 53 – АОА образцов яблок свежих необработанных и обработанных разными дозами ионизирующего излучения в процессе хранения, мМ-экв ($M \pm m$)

Доза облучения, кГр	Продолжительность хранения, мес.						
	0	1	2	3	4	5	6
0	4,629 ± 0,073	4,211 ± 0,136	3,983 ± 0,089	3,617 ± 0,099	3,105 ± 0,081	2,939 ± 0,077	2,772 ± 0,066
1	3,996 ± 0,044	3,832 ± 0,063	3,729 ± 0,049	3,562 ± 0,061	3,024 ± 0,066	2,739 ± 0,053	2,541 ± 0,054
2	3,562 ± 0,039	3,422 ± 0,037	3,219 ± 0,062	2,898 ± 0,051	2,611 ± 0,069	2,589 ± 0,039	2,332 ± 0,033
3	2,916 ± 0,065	2,738 ± 0,036	2,531 ± 0,052	2,406 ± 0,031	2,202 ± 0,033	2,196 ± 0,029	1,996 ± 0,031

Опытным путем с высокой степенью достоверности установлено, что обработка ионизирующим излучением яблок свежих приводит к изменению антиоксидантной активности.

Установлен высокий коэффициент корреляции между дозой облучения и АОА образцов яблок свежих – от 0,96 до 0,99 (степень силы статистической связи по Чеддоку очень высокая), т. е. существует обратно пропорциональная связь между дозой облучения и АОА яблок.

Заключение по главе 5

Проведенные исследования по влиянию ионизирующего излучения на сохранность пищевой продукции растительного происхождения позволили установить, что обработанные дозой 12 кГр пряности молотые (перец черный, перец белый, куркума, чили острый и чили жгучий) в процессе хранения до 18 мес. и обработанные дозой 3 кГр яблоки свежие в процессе хранения до 6 мес. сохраняют высокие значения органолептических показателей, а по микробиологическим показателям и содержанию токсичных элементов соответствуют требованиям соответствующих требованиям ТР ТС 021/2011 и нормативно-технической документации.

Изменения пищевой ценности продукции растительного происхождения после обработки разными дозами ионизирующего излучения и в процессе ее хранения сопоставимы с хранением яблок свежих до обработки, при этом в необработанных яблоках отмечено более интенсивное уменьшение содержания воды и углеводов, в пряностях не установлено достоверных изменений по содержанию углеводов и эфирных масел после обработки.

Установлено снижение АОА в обработанных ионизирующим излучением образцах пряностей и яблок свежих с увеличением дозы облучения.

ГЛАВА 6. ИССЛЕДОВАНИЕ ОСТРОЙ ТОКСИЧНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ ПИЩЕВОЙ ПРОДУКЦИИ, ОБРАБОТАННОЙ ИОНИЗИРУЮЩИМ ИЗЛУЧЕНИЕМ, НА ПРИМЕРЕ МЯСНОГО СЫРЬЯ

6.1 Биометрические показатели лабораторных животных

Определение острой токсичности и доказательство безопасности пищевой продукции, обработанной дозами ионизирующего излучения 8 и 12 кГр, на примере шейки свиной было завершающим этапом диссертационных исследований.

Экспериментальные исследования безопасности проведены на лабораторных животных – мышах белых беспородных обоих полов путем наблюдения за их поведением и контроля гематологических и биохимических показателей крови.

Были сформированы три группы половозрелых мышей белых беспородных обоих полов массой 35–40 г по 30 особей в каждой. Мыши получали суточный рацион массой 20 г, из них 5 г составляла мышечная часть шейки свиной. Мышам первой (контрольной) группы давали шейку свиную, не подвергнутую обработке ионизирующим излучением; мышам второй и третьей (опытных) групп – шейку свиную, обработанную дозами 8 и 12 кГр соответственно. На протяжении опыта контролировали клиническое состояние подопытных животных.

Для определения общего состояния мышей проводили исследование крови, так как она является важным компонентом, который обеспечивает организм животных молекулярным кислородом и питательными веществами, удаляя из тканей продукты распада и углекислоту. По изменению содержания форменных элементов (эритроцитов, лейкоцитов), белка и белковых фракций, липидных компонентов можно определить изменение физиологического состояния животных.

При визуальном наблюдении не установлены отклонения в клиническом состоянии, поведении, сохранности, а также в поедании корма у животных контрольной и опытных групп. На протяжении опыта мыши были активными, отсутство-

вали повреждения кожи. Не установлено достоверной разницы по массе в контрольной и опытных группах; через 30 сут с момента начала эксперимента живая масса увеличилась на 45,0–45,1 % (таблица 54).

Таблица 54 – Живая масса подопытных мышей, г ($M \pm m$) ($p \leq 0,05$)

Группа	Продолжительность эксперимента, сут			
	0	10	20	30
Первая (контрольная)	34,2 ± 2,6	37,8 ± 2,1	43,6 ± 2,9	49,6 ± 2,5
Вторая (опытная)	35,1 ± 2,5	38,7 ± 1,9	45,3 ± 2,8	50,9 ± 2,2
Третья (опытная)	34,8 ± 2,7	38,1 ± 2,3	44,6 ± 2,0	50,5 ± 2,3

6.2 Клинические лабораторные исследования крови животных

Заборы крови осуществляли путем тотального обескровливания после эвтаназии хлороформом пяти подопытных животных из каждой группы – при постановке на опыт, через 10; 20 и 30 сут.

Физиологические процессы, происходящие в организме животных, отражаются на составе крови. Основные гематологические показатели мышей находились в пределах физиологической нормы (таблица 55).

Существенных различий по группам в зависимости от вида поедаемого мяса не отмечено.

Основные гематологические показатели крови мышей на протяжении периода откорма находились в пределах физиологической нормы. Концентрация в крови гемоглобина, который в организме выполняет функцию переносчика кислорода, определяется количеством эритроцитов. По результатам исследований установлено увеличение концентрации гемоглобина и эритроцитов с возрастом подопытных животных. Кроме того, установлена положительная связь между окислительными свойствами крови (содержание эритроцитов и гемоглобина) и живой массой мышей.

Таблица 55 – Динамика изменения гематологических показателей ($M \pm m$) ($p \leq 0,05$)

Группа	Продолжительность эксперимента, сут	Эритроциты, 10^{12} г/л	Лейкоциты, 10^9 г/л	Гемоглобин, г/л
Первая (контрольная)	0	$8,5 \pm 0,3$	$7,5 \pm 0,2$	$100,5 \pm 1,9$
	10	$8,9 \pm 0,1$	$7,5 \pm 0,2$	$101,3 \pm 2,2$
	20	$9,2 \pm 0,1$	$7,6 \pm 0,1$	$102,7 \pm 2,1$
	30	$9,2 \pm 0,3$	$7,7 \pm 0,2$	$106,5 \pm 2,9$
Вторая (опытная)	0	$8,7 \pm 0,2$	$7,3 \pm 0,2$	$101,1 \pm 1,5$
	10	$8,9 \pm 0,4$	$7,5 \pm 0,2$	$102,9 \pm 2,6$
	20	$9,3 \pm 0,3$	$7,6 \pm 0,3$	$103,0 \pm 2,2$
	30	$9,3 \pm 0,1$	$7,6 \pm 0,3$	$106,5 \pm 2,6$
Третья (опытная)	0	$8,5 \pm 0,2$	$7,5 \pm 0,3$	$101,9 \pm 3,2$
	10	$9,0 \pm 0,3$	$7,5 \pm 0,3$	$103,1 \pm 1,6$
	20	$9,2 \pm 0,3$	$7,5 \pm 0,2$	$103,5 \pm 1,5$
	30	$9,3 \pm 0,2$	$7,6 \pm 0,2$	$106,4 \pm 2,7$

По содержанию эритроцитов и гемоглобина между животными разных групп существенных различий не установлено. По сравнению с моментом постановки на опыт через 30 сут от начала эксперимента концентрация эритроцитов увеличилась на 8,2; 6,9 и 9,4 % в первой, второй и третьей группах соответственно; концентрация гемоглобина – на 6,0; 5,3 и 4,4 % соответственно.

Содержание лейкоцитов – важный индикатор иммунитета животных. Во всех группах животных установлено незначительное увеличение содержания лейкоцитов по сравнению с моментом постановки на опыт: на 2,7; 4,1 и 1,3 % в первой, второй и третьей группах соответственно.

При исследовании биохимических показателей крови (белка и белковых фракций, аминотрансфераз) достоверных различий между группами подопытных животных не установлено (таблица 56).

Установлено незначительное снижение общего белка в крови подопытных животных через 30 сут от начала эксперимента по сравнению с моментом постановки на опыт – на 7,7; 3,6 и 2,5 % в первой, второй и третьей группах соответственно.

Для животных всех групп характерно большее содержание глобулинов и меньшее содержание альбуминов.

Таблица 56 – Динамика изменения биохимических показателей крови мышей ($M \pm m$) ($p \leq 0,05$)

Группы	Продолжительность эксперимента, сут	Общий белок, г/л	Альбумин, г/л	Глобулин, г/л	α -амилаза, мг/с · л	АлАТ, ммоль/ч · л	АсАТ, ммоль/ч · л
Первая (контрольная)	0	40,5 ± 2,3	16,2 ± 0,9	24,3 ± 1,5	7,1 ± 0,6	1,11 ± 0,11	2,28 ± 0,21
	10	39,9 ± 2,2	16,0 ± 0,9	24,1 ± 1,2	7,1 ± 0,4	1,10 ± 0,11	2,23 ± 0,21
	20	39,8 ± 2,4	15,8 ± 0,7	24,0 ± 1,3	7,5 ± 0,4	1,06 ± 0,09	2,15 ± 0,16
	30	37,6 ± 1,6	15,2 ± 0,9	22,4 ± 1,3	7,9 ± 0,6	0,98 ± 0,09	2,01 ± 0,11
Вторая (опытная)	0	40,5 ± 1,9	16,1 ± 0,8	24,4 ± 1,1	7,2 ± 0,5	1,15 ± 0,21	2,31 ± 0,22
	10	40,2 ± 2,0	16,0 ± 0,8	24,2 ± 1,2	7,4 ± 0,5	1,08 ± 0,18	2,21 ± 0,19
	20	39,5 ± 1,8	15,6 ± 0,6	23,9 ± 1,1	7,5 ± 0,5	1,05 ± 0,17	2,15 ± 0,16
	30	39,1 ± 1,5	15,5 ± 0,7	23,6 ± 1,1	7,8 ± 0,7	1,03 ± 0,11	2,05 ± 0,12
Третья (опытная)	0	40,3 ± 2,2	16,0 ± 0,9	24,3 ± 1,3	7,0 ± 0,4	1,15 ± 0,20	2,51 ± 0,23
	10	39,8 ± 1,9	15,8 ± 0,7	24,0 ± 1,2	7,4 ± 0,5	1,13 ± 0,15	2,43 ± 0,15
	20	39,6 ± 1,9	15,7 ± 0,7	23,9 ± 1,2	7,6 ± 0,7	1,04 ± 0,14	2,16 ± 0,16
	30	39,3 ± 1,5	15,5 ± 0,8	23,8 ± 1,1	7,7 ± 0,6	0,99 ± 0,10	2,03 ± 0,11

Через 30 сут от начала эксперимента в крови мышей снижается содержание как альбуминов, так и глобулинов. У мышей первой (контрольной) группы содержание альбуминов уменьшается на 6,2 %, содержание глобулинов – на 7,8 %; у животных второй (опытной) группы – на 3,7 и 3,3 % соответственно; у животных третьей (опытной) группы – на 3,1 и 2,1 % соответственно. Соотношение между альбумином и глобулином характеризует высокую энергию роста животных и составляет при постановке на опыт в первой группе 41,0:59,0, во второй группе – 39,8:60,2, в третьей группе – 39,7:60,3, а через 30 сут откорма – 40,4:58,6; 39,6:60,4 и 39,4:60,6 соответственно.

Увеличение содержания α -амилазы в крови животных свидетельствует о лучшем переваривании корма: так, в первой группе прирост составил 11,3 % по сравнению с моментом постановки на опыт, во второй и третьей группах – 8,3 и 10,0 % соответственно.

Ферменты аланинаминотрансфераза (АлАТ) и аспартатаминотрансфераза (АсАТ) играют важную роль в биохимических реакциях. Снижение активности АлАТ и АсАТ в плазме (сыворотке) крови указывает на хорошее физиологическое состояние животных в процессе роста и характеризует в первую очередь сердечную деятельность, высокий мышечный статус и работу печени: в первой (контрольной)

группе содержание АлАТ уменьшилось на 13,3 %, АсАТ – на 13,4 % по сравнению с постановкой на опыт; во второй группе – на 11,7 и 12,7 % соответственно; в третьей группе – на 16,2 и 23,6 % соответственно.

Не установлено достоверных различий в изменении белкового показателя (отношение альбумина к глобулину) при откорме лабораторных животных разными рационами: для первой группы показатель находится в пределах 0,66–0,68, для второй и третьей групп – 0,65–0,66. Следовательно, интенсивность роста животных всех групп сопоставима на протяжении всего периода откорма.

По реакции перекисного окисления липидов (ПОЛ) в плазме крови возможно установить отсутствие или развитие патологических процессов в организме животных. Оценку процессов ПОЛ осуществляли по содержанию диеновых конъюгатов и малонового диальдегида, которые выступают маркерами окислительного стресса. Диеновые конъюгаты являются первичными продуктами ПОЛ и могут оказывать повреждающее воздействие на белки, липопротеиды, нуклеиновые кислоты. Повышение содержания малонового диальдегида как вторичного продукта ПОЛ может приводить к повышенной хрупкости мембран.

Установлено, через 30 суток откорма что содержание диеновых конъюгатов в плазме крови первой группы подопытных животных по сравнению с постановкой на опыт уменьшилось на 2,9; 3,7 и 5,4 % в первой, второй и третьей группах соответственно; содержание малонового диальдегида уменьшилось на 17,0; 10,3 и 17,0 % соответственно (таблица 57). Полученные результаты показывают, что в организме лабораторных животных не происходят патологические процессы.

Таблица 57 – Показатели перекисного окисления липидов в крови мышей ($M \pm m$) ($p \leq 0,05$)

Группы	Продолжительность эксперимента, сут	Диеновые конъюгаты, ед. опт. плотности/мг	Малоновый диальдегид, мкмоль/л
Первая (контрольная)	0	24,7 ± 1,2	3,51 ± 0,12
	10	24,6 ± 1,1	3,60 ± 0,12
	20	24,2 ± 1,1	3,22 ± 0,09
	30	24,0 ± 1,0	3,00 ± 0,11

Продолжение таблицы 57

Группы	Продолжительность эксперимента, сут	Диеновые конъюгаты, ед. опг. плотности/мг	Малоновый диальдегид, мкмоль/л
Вторая (опытная)	0	25,1 ± 1,2	3,42 ± 0,11
	10	24,9 ± 1,1	3,40 ± 0,12
	20	24,6 ± 1,0	3,43 ± 0,08
	30	24,2 ± 1,0	3,10 ± 0,09
Третья (опытная)	0	25,3 ± 1,1	3,51 ± 0,11
	10	24,9 ± 1,1	3,40 ± 0,11
	20	24,6 ± 1,2	3,21 ± 0,09
	30	24,0 ± 1,0	3,00 ± 0,09

Таким образом, шейка свиная, обработанная дозами ионизирующего излучения 8 и 12 кГр, является безопасной и не оказывает острого токсического действия на организм белых беспородных мышей.

Заключение по главе 6

Исследование острой токсичности и безопасности мясного сырья, обработанного ионизирующим излучением, по результатам гематологических и биохимических показателей крови и перекисного окисления липидов лабораторных животных, до 25 % суточного рациона которых заменено на мясное сырье, обработанное дозами 8 и 12 кГр, показало его доброкачественность и безопасность при употреблении в пищу. Результаты исследований имеют важное научно-практическое значение для подтверждения безопасности обработки пищевых продуктов определенными дозами ионизирующего излучения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

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

Итоги полученных результатов исследований представлены в следующих выводах.

1. Проведен анализ зарубежной и отечественной нормативной документации и исследований зарубежных и отечественных ученых 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 облучения (кроме некоторых видов пряностей).

2. Разработана адаптированная для разных видов мяса сельскохозяйственных животных и птицы методика пробоподготовки для дальнейшей ЭПР-спектроскопии образцов костной ткани 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 образцов кожи с чешуей рыбного сырья рекомендованы аналогичные параметры, как и для образцов костной ткани; разработана методика пробоподготовки для образцов мышечной ткани, 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. Осуществлено математическое моделирование расчетной поверхностной поглощенной дозы ионизирующего излучения в зависимости технологических параметров и видов пищевой продукции. Построены математические модели нелинейной функции (\arccos) расчетной 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 облучения 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 облучения 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 облучения 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 облучения 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 ионизирующим излучением мясного сырья. Для карпа, содержащего костную ткань, при дозе облучения 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 ионизирующим излучением карпа.

4.2. Продукция растительного происхождения.

Для пряностей молотых при дозе облучения 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 облучения 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 ионизирующего излучения до 10 кГр; образцы свинины и мяса птицы – дозой до 9 кГр; образцы шейки свиной – дозой до 8 кГр через 30 сут хранения соответствуют

требованиям технических регламентов. Незначительные изменения химического состава сопоставимы с изменениями при других способах хранения. Обработка ионизирующим излучением мясного сырья 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 облучения 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 облучения 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 облучения 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 облучения 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 облучения приводит к снижению АОА в мясном сырье. АОА в говядине при обработке дозой до 3 кГр составляет 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 обработке дозой 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 обработке дозой 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 обработке дозой 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 облучения до 12 кГр уменьшается: в обработанных образцах говядины – на 11,6 %, свинины – на 4,2 % и 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 облучения: 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 облучения 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 ионизирующим излучением 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 $(7,6...9,8) \cdot 10^5$ КОЕ/г и 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 обработанными дозами 1–3 кГр яблоками, 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 кГр до 3 кГр оказывает положительное влияние на их сохраняемость за счет обеспечения низкого уровня микробиальной 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 при дозе облучения 3 кГр КМАФАнМ составляет $0,4 \cdot 10^3$ КОЕ/г, БГКП и патогенные микроорганизмы не обнаружены, дрожжи и плесень составляют $0,4 \cdot 10^1$ КОЕ/г и $0,1 \cdot 10^2$ КОЕ/г соответственно. Увеличение дозы облучения приводит к уменьшению АОА в яблоках 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 протяжении 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 животного и растительного происхождения, 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 кожице, пряностей молотых – по измельченным плодам.

2. Для определения поглощенной дозы использовать расчетный способ по адаптированной формуле в соответствии с ГОСТ Р 52529-2006 с внесением изменений по единицам измерения параметров ЭПР-сигнала и введением в качестве переменной в расчетную формулу площади ЭПР-сигнала вместо амплитуды.

3. Для увеличения срока годности до 30 сут различных видов пищевой продукции целесообразно обрабатывать охлажденную говядину дозой ионизирующего излучения до 10 кГр; охлажденную свинину – до 9 кГр; охлажденную шейку свиную – до 8 кГр; охлажденное мясо косули – до 10 кГр; охлажденное мясо птицы – до 9 кГр; охлажденного карпа – до 3 кГр; для увеличения срока годности до 6 мес. – яблоки свежие целесообразно обрабатывать дозой до 3 кГр; для увеличения срока годности до 18 мес. пряности молотые целесообразно обрабатывать дозой до 12 кГр.

4. Рекомендуется государственным надзорным органам в области обеспечения качества и безопасности пищевой продукции (федеральные органы исполнительной власти, органы исполнительной власти субъектов Российской Федерации, уполномоченные на осуществление федерального государственного санитарно-эпидемиологического надзора, федерального государственного ветеринарного надзора, регионального государственного ветеринарного надзора) при осуществлении контроля 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.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

- ААА – аминокислотный азот.
- АКС – аминокислотный скор.
- АлАТ – аланинаминотрансфераза.
- АОА – антиоксидантная активность.
- АсАТ – аспаратаминотрансфераза.
- БГКП – бактерии группы кишечной палочки.
- БКП – белковый качественный показатель.
- БЦ – биологическая ценность белка.
- ВСС – влагосвязывающая способность.
- ЗАК – заменимые аминокислоты.
- КМАФАНМ – количество мезофильных аэробных и факультативно анаэробных микроорганизмов.
- КПЦ – количество парамагнитных центров.
- КРАС – коэффициент различия/разбалансированности аминокислотного сора.
- КЧ – кислотное число.
- ЛЖК – летучие жирные кислоты.
- МГС – модифицированная газовая среда.
- МНЖК – мононенасыщенные жирные кислоты.
- МПД – мера поглощенной дозы.
- НАК – незаменимые аминокислоты.
- НЖК – насыщенные жирные кислоты.
- ОЗЭ – облученная зубная эмаль.
- ОКТ – образцы костной ткани.
- ОКЧ – образцы кожи с чешуей.
- ОМТ – образцы мышечной ткани.
- ПНЖК – полиненасыщенные жирные кислоты.

ПОЛ – перекисное окисление липидов.

ПЦ – парамагнитный центр.

ПЧ – перекисное число.

РГС – регулируемая газовая среда.

РПЦ – радиационно-индуцированный парамагнитный центр.

СВЧ – сверхвысокочастотное излучение.

ЭПР – электронный парамагнитный резонанс.

KG – коэффициент сопоставимой избыточности.

KU – коэффициент утилитарности аминокислотного состава.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абилдаева, М. Основные методы консервирования пищи – способы и особенности [Текст] / М. Абилдаева, Н. Амирхан, С. К. Мансур // Актуальные научные исследования в современном мире. – 2017. – № 3–2 (23). – С. 91–92.
2. Абдрахманова, Р. Н. Стартовые культуры микроорганизмов в технологии производства мясопродуктов [Текст] / Р. Н. Абдрахманова, Т. Н. Зайцева // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. – 2012. – № 1(30). – С. 71–73.
3. Алексахин, Р. М. Перспективы использования радиационных технологий в агропромышленном комплексе Российской Федерации [Текст] / Р. М. Алексахин, Н. И. Санжарова, Г. В. Козьмин, С. А. Гераськин, А. Н. Павлов // Вестник Российской академии естественных наук. Сельское хозяйство. – 2014. – № 1. – С. 78–85.
4. Алетдинова, А. А. От прорывных технологий к инновационному развитию агропромышленных кластеров [Текст] / А. А. Алетдинова // Инновации и продовольственная безопасность. – 2017. – № 2 (16) – С. 7–13.
5. Альтшулер, С. А. Электронный парамагнитный резонанс [Текст] / С. А. Альтшулер, Б. М. Козырев. – М. : Физматлит, 1961. – 368 с.
6. Андрианова, Т. Г. Ветеринарно-санитарная оценка качества мяса цыплят-бройлеров после обработки ионизирующим излучением [Текст] / Т. Г. Андрианова // Международная научно-практическая конференция, посвященная памяти Василия Матвеевича Горбатова. – 2015. – № 1. – С. 36–37.
7. Андрианова, Т. Г. Влияние ионизирующего излучения на качество мяса [Текст] / Т. Г. Андрианова, Е. М. Рыжкова // Теоретические и практические вопросы науки XXI века : сб. ст. Междунар. науч.-практ. конф. (Уфа, 28 февраля 2014 г.). – Уфа : Башкирский гос. ун-т, 2014. – С. 200–203.
8. Антиоксидантные свойства культурных растений Калининградской области [Текст] / Г. Н. Чупахина, П. В. Масленников, Л. Н. Скрыпник и др. – Калининград : Балтийский федеральный университет им. И. Канта, 2016. – 145 с.

9. Антипова, Л. В. Методы исследования мяса и мясных продуктов [Текст] / Л. В. Антипова, И. А. Глотова, И. А. Рогов. – М. : Колос, 2001. – 376 с.

10. Арзамасцев, А. П. Оценка показателей антиоксидантной активности препаратов на основе лекарственного растительного сырья [Текст] / А. П. Арзамасцев, Е. И. Шкарина, Т. В. Максимова и др. // Химико-фармацевтический журнал. – 1999. – № 11. – С. 17–20.

11. Арофикин, Н. В. Низкотемпературная пастеризация жидких пищевых продуктов [Текст] / Н. В. Арофикин // Техника и оборудование для села. – 2009. – № 7. – С. 18–19.

12. Арутюнян, А. В. Методы оценки свободнорадикального окисления и антиоксидантной системы [Текст] / А. В. Арутюнян, Е. Е. Дубинина, Н. Н. Зыбина. – СПб. : Изд-во РАМН, 2000. – 102 с.

13. Арутюнянц, А. А. Изучение антиоксидантной активности аминокислот / А. А. Арутюнянц, Н. А. Саламова, Р. Е. Лохов [Текст] // Башкирский химический журнал. – 2012. – Т. 19, № 1. – С. 169–171.

14. Безопасность и пищевая ценность облученной продукции [Текст] : пер. с англ. – М. : Медицина, 1995. – 209 с.

15. Бельков, Г. И. Использование биологического потенциала герефордов для производства высококачественной говядины [Текст] / Г. И. Бельков, К. М. Джуламанов // Вестник российской сельскохозяйственной науки. – 2010. – № 1. – С. 79–81.

16. Борисова, А. В. Антиоксидантная активность *in vitro* пряностей, используемых в питании человека [Текст] / А. В. Борисова, Н. В. Макарова // Вопросы питания. – 2016. – № 3. – С. 120–125.

17. Бузоверов, С. Ю. Перспективы использования модифицированных газовых сред в процессе хранения пищевых продуктов [Текст] / С. Ю. Бузоверов, Н. В. Постникова // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2013. – № 2 (100). – С. 106–109.

18. Буянов, В. О. Разработка технологии быстрого замораживания пищевых продуктов на базе комбинированного способа [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.18.04 / Буянов Вадим Олегович. – Кемерово, 2010. – 18 с.

19. Быкова, Т. О. Химический состав и показатели антиоксидантной активности сортов яблок Самарской области [Текст] / Т. О. Быкова, Н. В. Макарова, О. И. Азаров // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 2016. – № 2–3 (350–351). – С. 21–24.

20. Быковченко, Т. В. Радиационное воздействие электронов на чистые культуры микроорганизмов [Текст] / Т. В. Быковченко, О. В. Волкова, М. А. Завьялов, В. П. Филиппович, В. А. Кухто, Ю. С. Павлов, А. В. Прокопенко // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2014. – № 12. – С. 45–49.

21. Ваганов, Е. Г. Применение посолочных рассолов на основе электроактивированной воды в технологии производства мясопродуктов [Текст] / Е. Г. Ваганов, С. Л. Тихонов, Д. Сазонова // Здоровье человека и экологически чистые продукты питания – 2014 : материалы Всерос. науч.-практ. конф. (Орел, 31 октября 2014 г.). – Орел : Госуниверситет – УНПК, 2014. – С. 21–26.

22. Васильев, А. В. Нутриметабомика – новый этап развития биохимии питания. Роль нутрелипидомных исследований [Текст] / А. В. Васильев, Н. Э. Шаранова, С. Н. Кулакова // Вопросы питания. – 2014. – Т. 83, № 1. – С. 4–11.

23. Вахитов, М. Р. Целесообразность применения лучевой стерилизации продуктов [Текст] / М. Р. Вахитов, И. С. Докучаева // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2013. – № 1. – С. 62–66.

24. Вербицкий, С. Что влияет на качество свинины? [Текст] / С. Вербицкий // Животноводство России. – 2014. – № 12. – С. 27–28.

25. Вертц, Дж. Теория и практические приложения метода ЭПР [Текст] / Дж. Вертц, Дж. Болтон. – М. : Мир, 1975. – 548 с.

26. Викторова, И. А. Сублиматор для сушки замороженного продукта [Текст] / И. А. Викторова // Вестник НГИЭИ. – 2015. – № 2(45). – С. 21–24.

27. Винникова, Л. Г. Применение высокого давления в качестве альтернативы тепловой обработки мяса птицы [Текст] / Л. Г. Винникова, И. А. Прокопенко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2015. – Т. 3, № 10(75). – С. 31–36.

28. Владимиров, Ю. А. Свободные радикалы в биологических системах / Ю. А. Владимиров [Текст] // Соросовский образовательный журнал. – 2000. – № 12(6). – С. 13–19.

29. Воеводова, Е. Н. Оценка биологической ценности белков импортного и отечественного мяса разных видов после длительного холодильного хранения [Электронный ресурс] / Е. Н. Воеводова // Научный журнал Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики. Сер.: Процессы и аппараты пищевых производств. – 2012. – № 1. – Режим доступа : <http://processes.itmo.info/file/article/9050.pdf>.

30. Воронин, М. И. Современная модель системы сохранения качества продовольствия и сырья биологического происхождения [Текст] / М. И. Воронин // Холодильная техника. – 2009. – № 6. – С. 20–23.

31. Генералова, В. В. Дозиметрия в радиационной технологии [Текст] / В. В. Генералова, М. Н. Гурский. – М. : Изд-во стандартов, 1981. – 184 с.

32. Головин, М. А. Новый штамм бифидобактерий, как фактор повышения биобезопасности пищевых продуктов питания [Текст] / М. А. Головин, В. И. Ганина // Техника и технология пищевых производств. – 2012. – Т. 4, № 27. – С. 139–144.

33. Гольдфейн, М. Д. Свободные радикалы и органические парамагнетики [Текст] / М. Д. Гольдфейн, Э. Г. Розанцев // Естественные науки. Химия. – 2014. – № 1(5). – С. 60–72.

34. Горбунова, Н. А. Альтернативные технологии – ультразвук в мясной промышленности [Текст] / Н. А. Горбунова // Все о мясе. – 2016. – № 2. – С. 37–41.

35. Горбунова, Н. А. О возможности использования высокого давления. Обзор научно-исследовательских работ [Текст] / Н. А. Горбунова // Все о мясе. – 2012. – № 1. – С. 45–47.

36. Горлов, И. Ф. Инновационные технологии управления живыми системами в производстве высококачественной экологически безопасной продукции животноводства [Текст] / И. Ф. Горлов // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2014. – № 3(35). – С. 104–115.

37. Горлов, И. Ф. Новые подходы к прогнозированию качества мясной продукции [Текст] / И. Ф. Горлов, А. В. Ранделин, М. И. Сложенкина, А. А. Кайдулина, Е. В. Карпенко // Международная научно-практическая конференция, посвященная памяти В. М. Горбатова. – 2015. – № 1. – С. 133–137.

38. Горлов, И. Ф. Новые тенденции в производстве мясных и молочных продуктов [Текст] / И. Ф. Горлов. – Волгоград : Сфера, 2015. – 160 с.

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

40. Горлов, И. Ф. Пищевая ценность говядины и мясная продуктивность крупного рогатого скота [Текст] / И. Ф. Горлов, М. И. Сложенкина, П. С. Кобыляцкий, О. П. Шахбазова, А. Л. Алексеев // Молочное и мясное скотоводство. – 2014. – № 7. – С. 19–22.

41. Горлов, И. Ф. Хранение мяса животных в охлажденном состоянии с использованием электрохимически активированных сред [Текст] / И. Ф. Горлов, И. М. Осадченко, Е. Ю. Злобина, Ю. В. Стародубова // Научно-практическое обеспечение холодильной промышленности : сб. науч. трудов к 85-летию ВНИХИ / под общ. ред. Г. А. Белозерова. – М. : ФГБНУ ВНИХИ, 2015. – С. 162–170.

42. Госкорпорация «Росатом» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.rosatom.ru> (дата обращения : 28.09.2017).

43. ГОСТ 31652-2012. Пищевые продукты. Метод электронного парамагнитного резонанса для выявления радиационно-обработанных продуктов, содержащих кристаллический сахар [Текст]. – М. : Стандартинформ, 2012. – 8 с.

44. ГОСТ 31672-2012. Пищевые продукты. Метод электронного парамагнитного резонанса для выявления радиационно-обработанных продуктов, содержащих целлюлозу [Текст]. – М. : Стандартинформ, 2012. – 6 с.

45. ГОСТ 33271-2015. Пряности сухие, травы и приправы овощные. Руководство по облучению в целях борьбы с патогенными и другими микроорганизмами [Текст]. – М. : Стандартинформ, 2016. – 9 с.

46. ГОСТ 33302-2015. Продукция сельскохозяйственная свежая. Руководство по облучению в целях фитосанитарной обработки [Текст]. – М. : Стандартинформ, 2016. – 12 с.

47. ГОСТ 33339-2015. Радиационная обработка пищевых продуктов. Основные технические требования [Текст]. – М. : Стандартинформ, 2016. – 10 с.

48. ГОСТ 33800-2016. Продукция пищевая облученная. Общие требования к маркировке [Текст]. – М. : Стандартинформ, 2016. – 8 с.

49. ГОСТ 33820-2016. Мясо свежее и мороженое. Руководство по облучению для уничтожения паразитов, патогенных и иных микроорганизмов [Текст]. – М. : Стандартинформ, 2016. – 8 с.

50. ГОСТ 33825-2016. Полуфабрикаты из мяса упакованные. Руководство по облучению для уничтожения паразитов, патогенных и иных микроорганизмов. – М. : Стандартинформ, 2016. – 10 с.

51. ГОСТ 34131-2017. Мясо и мясные продукты. Метод обнаружения облученных продуктов газовой хроматографией [Текст]. – М. : Стандартинформ, 2017. – 12 с.

52. ГОСТ 34154-2017. Руководство по облучению рыбы и морепродуктов с целью подавления патогенных и вызывающих порчу микроорганизмов [Текст]. – М. : Стандартинформ, 2017. – 8 с.

53. ГОСТ 34155-2017. Руководство по дозиметрии при исследовании влияния радиации на пищевые и сельскохозяйственные продукты [Текст]. – М. : Стандартинформ, 2017. – 21 с.

54. ГОСТ 34156-2017. Руководство по дозиметрии при обработке пищевых продуктов гамма-излучением [Текст]. – М. : Стандартинформ, 2017. – 10 с.

55. ГОСТ Р 52529-2006. Мясо и мясные продукты. Метод электронного парамагнитного резонанса для выявления радиационно-обработанных мяса и мясopодуков, содержащих костную ткань [Текст]. – М. : Стандартинформ, 2006. – 12 с.

56. ГОСТ Р ИСО/ASTM 51431-2012. Руководство по дозиметрии при обработке пищевых продуктов электронными пучками и рентгеновским (тормозным) излучением [Текст]. – М. : Стандартинформ, 2014. – 10 с.

57. ГОСТ ISO 14470-2014. Радиационная обработка пищевых продуктов. Требования к разработке, валидации и повседневному контролю процесса облучения пищевых продуктов ионизирующим излучением [Текст]. – М. : Стандартинформ, 2015. – 11 с.

58. Григорьева, Р. С. Современные технологии хранения пищевых продуктов [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Р. С. Григорьева. – Кемерово : Кемеровский технологический институт пищевой промышленности, 2003. – Режим доступа : <https://textarchive.ru/c-2184179-pall.html> (дата обращения: 02.07.2018).

59. Гуринович, Г. В. Инновационные технологии мясных продуктов [Текст] / Г. В. Гуринович, Я. М. Узаков // Инновации в пищевой биотехнологии : сб. тр. Междунар. симпозиума / под общ. ред. А. Ю. Просекова (Кемерово, 14–16 мая 2018 г.). – Кемерово : Кемеровский гос. ун-т, 2018. – С. 148–151.

60. Гуринович, Г. В. Исследование состава и свойства жировой ткани свинины в зависимости от категории упитанности с целью обоснования направлений ее рационального использования [Текст] / Г. В. Гуринович, К. В. Малютина, М. А. Субботина // Техника и технология пищевых производств. – 2015. – Т. 38, № 4. – С. 20–25.

61. Гуринович, Г. В. Комплексная оценка качества свинины четвертой категории упитанности [Текст] / Г. В. Гуринович, К. В. Малютина, Л. С. Кудряшов // Мясная индустрия. – 2018. – № 11. – С. 18–21.

62. Гуринович, Г. В. Научно-практические аспекты актуальных технологий мясных продуктов [Текст] / Г. В. Гуринович // Мясной ряд. – 2015. – № 1(59). – С. 66–70.

63. Гурьева, А. Н. Биологическая ценность белков замороженного мяса после хранения [Текст] / А. Н. Гурьева, Е. В. Иванова // Мясные технологии. – 2012. – № 3. – С. 46–49.

64. Дедерер, И. Изготовление наноэмульсий с использованием ингредиентов антиоксидантного действия и их применение в мясопродуктах [Текст] / И. Дедерер, М. Рюкерт // Все о мясе. – 2012. – № 6. – С. 10–13.

65. Докучаева, И. С. Проблемы технологии лучевой стерилизации пищевых продуктов [Текст] / И. С. Докучаева, Г. Х. Гумерова, Е. Г. Хакимова // Вестник Казанского технологического университета. – 2016. – № 17(19). – С. 169–171.

66. Донскова, Л. А. Мясо птицы как продукт органического производства: состояние, проблемы, управленческие решения [Текст] / Л. А. Донскова, О. Н. Зуева, Н. М. Беляев // Фундаментальные исследования. – 2018. – № 1. – С. 64–67.

67. Дроздова, Н. А. Применение ионизирующего и неионизирующего излучения в пищевой промышленности [Текст] / Н. А. Дроздова, А. С. Дыдыкин, Н. А. Горбунова, А. А. Семенова // Все о мясе. – 2017. – № 1. – С. 16–20.

68. Дубровин, Ю. Н. Состояние и меры по совершенствованию холодильной цепи в рыбопромышленном комплексе [Текст] / Ю. Н. Дубровин // Холодильная техника. – 2012. – № 4. – С. 38–39.

69. Дульгер, Н. В. Экспериментальная оценка теплофизических характеристик продуктов животного происхождения [Текст] / Н. В. Дульгер, Р. Н. Зарипов, В. Н. Лысова // Вестник Астраханского государственного технического университета. – 2005. – № 2(25). – С. 284–287.

70. Европейский региональный стандарт EN 13708-2002. Метод электронного парамагнитного резонанса для выявления радиационно-обработанных продуктов, содержащих кристаллический сахар [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.fao.org.ru> (дата обращения: 02.07.2016).

71. Европейский региональный стандарт EN 1786-1997. Пищевые продукты. Обнаружение облученных пищевых продуктов, содержащих кости. Метод ЭПР-спектроскопии [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.fao.org.ru> (дата обращения: 15.08.2016).

72. Европейский региональный стандарт EN 1787-2000. Метод электронного парамагнитного резонанса для выявления радиационно-обработанных продуктов, содержащих целлюлозу [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.fao.org.ru> (дата обращения: 01.07.2016.).

73. Жакпаров, Р. К. ЭПР – дозиметрия радиационно-стерилизованных пищевых продуктов [Текст] / Р. К. Жакпаров, О. В. Стахов, С. П. Пивоваров // Вестник

Национального ядерного центра Республики Казахстан. – 2007. – Вып. 1(29). – С. 23–28.

74. Жоли, М. Физическая химия денатурации белков [Текст] / М. Жоли. – М. : Мир, 1968. – 364 с.

75. Журавлев, А. И. Свободнорадикальная биология [Текст] / А. И. Журавлев, В. Т. Пантюшенко. – М. : Московская ветеринарная академия, 1989. – 60 с.

76. Журавская, Н. К. Исследование и контроль качества мяса и мясопродуктов [Текст] / Н. К. Журавская, Л. Т. Алехина, Л. М. Отряшенкова. – М. : Агропромиздат, 1985. – 296 с.

77. Зуев, Н. А. Замораживание и сушка рыбы методом сублимации [Текст] / Н. А. Зуев, О. В. Савельева, В. О. Андрощук // Процессы и аппараты пищевых производств. – 2013. – № 2. – С. 6.

78. Ибрагимова, Р. Р. Применение физических методов обработки в мясной промышленности [Текст] / Р. Р. Ибрагимова, Г. А. Гайсина // Наука и образование: новое время. – 2018. – № 2 (25). – С. 126–129.

79. Ишевский, А. А. Криогенное замораживание пищевых продуктов [Текст] / А. А. Ишевский, А. С. Шульга, И. В. Гришина, А. Л. Родионова // Мясные технологии. – 2009. – № 4. – С. 30–32.

80. Казанский, Н. И. Тенденции развития пластиковых оболочек / Н. И. Казанский, С. В. Бородаев [Текст] // Мясная индустрия. – 2001. – № 12. – С. 36–37.

81. Казиахмедов, А. С. Влияние радиуризации на физико-химические показатели мяса [Текст] / Т. Г. Андрианова, А. С. Казиахмедов // Наука и образование : материалы VIII Междун. науч.-практ. конф. – Прага, 2012. – С. 42–45.

82. Казиахмедов, А. С. Ветеринарно-санитарная оценка качества и безопасности мяса цыплят-бройлеров при обработке ионизирующим излучением [Текст] : автореф. дис. ... канд. ветеринар. наук : 06.02.05 / Казиахмедов Адлан Славудинович. – М., 2012. – 22 с.

83. Кайшев, В. Г. Функциональные продукты питания: основа для профилактики заболеваний, укрепления здоровья и активного долголетия [Текст] / В. Г. Кайшев, С. Н. Серегин // Пищевая промышленность. – 2017. – № 7. – С. 8–14.

84. Касаткина, М. А. Биополимерные пленки на основе хитозана [Текст] / М. А. Касаткина, Г. А. Баязитова, Н. Р. Кильдеева // *Фундаментальные и прикладные исследования по безопасности и качеству пищевых продуктов : сб. науч. тр. VIII Междунар. конф. молодых ученых и специалистов. – Видное : Всерос. НИИ технологии консервирования, 2014. – С. 98–102.*

85. Касьянов, Г. И. Биоразрушаемая упаковка для пищевых продуктов [Текст] / Г. И. Касьянов // *Вестник науки и образования Северо-Запада России. – 2015. – Т. 1, № 1. – С. 112–119.*

86. Катаева, Д. Г. Химический состав мяса косули в Дагестане [Текст] / Д. Г. Катаева // *Актуальные вопросы АПК в современных условиях развития страны : сб. науч. тр. Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. – Махачкала : Дагестанский государственный аграрный университет им. М. М. Джамбулатова, 2016. – С. 174–176.*

87. Кильдеева, Н. Р. Гидрогели хитозана, модифицированного бифункциональными сшивающими реагентами [Текст] / Н. Р. Кильдеева, С. Н. Михайлов // *Хитозан / под ред. К. Г. Скрябина, С. Н. Михайлова, В. П. Варламова. – М. : Центр биоинженерии РАН, 2013. – Р. 271–307.*

88. Кодекс Алиментариус. Маркировка пищевых продуктов [Текст] : пер. с англ. – М. : Весь мир, 2006. – 62 с.

89. Кодекс Алиментариус. Методы анализа и отбора проб [Текст] : пер. с англ. – М. : Весь мир, 2007. – 104 с.

90. Кодекс Алиментариус. Облученные продукты питания [Текст] : пер. с англ. – М. : Весь мир, 2007. – 24 с.

91. Козьмин, Г. В. Радиационные технологии в сельском хозяйстве и пищевой промышленности [Текст] / Г. В. Козьмин, Н. И. Санжарова, И. И. Кибина, А. Н. Павлов, В. Н. Тихонов // *Достижения науки и техники АПК. – 2015. – № 5. – С. 87–92.*

92. Колодязная, В. С. Пробиотические культуры в технологии мясных полуфабрикатов из телятины [Текст] / В. С. Колодязная, Ю. В. Бройко, Д. А. Бараненко // *Мясная индустрия. – 2011. – № 10. – С. 33–36.*

93. Колончин, К. В. Предполагаемые риски и новые возможности для производителей рыбной продукции [Текст] / К. В. Колончин, И. Н. Игоница, Е. Н. Харенко // Контроль качества продукции. – 2018. – № 6. – С. 6–9.

94. Кондратьев, Г. М. Регулярный тепловой режим [Текст] / Г. М. Кондратьев. – М. : Гостехиздат, 1954. – 408 с.

95. Коновалов, Д. А. Антиоксиданты плодов и овощей [Текст] / Д. А. Коновалов, В. Н. Оробинская, О. Н. Писаренко // Современная наука и инновации. – 2013. – № 4. – С. 76–83.

96. Короткова, Е. И. Вольтамперометрический способ определения суммарной антиоксидантной активности объектов [Текст] / Е. И. Короткова, А. Н. Лукина (Вторушина), Л. А. Гончаров // Методы оценки антиоксидантной активности биологически активных веществ лечебного и профилактического назначения : материалы науч.-практ. семинара. – М., 2004. – С. 182–194.

97. Короткова, Е. И. Новый способ определения активности антиоксидантов [Текст] / Е. И. Короткова // Журнал физической химии. – 2000. – № 9(74). – С. 1544–1546.

98. Короткова, Е. И. Определение антиоксидантной активности экстрактов растительного сырья методом катодной вольтамперометрии [Текст] / Е. И. Короткова, О. А. Аврамчик, М. С. Юсубов, М. В. Белоусов, Т. И. Андреева // Химико-фармацевтический журнал. – 2003. – № 9 (37). – С. 63–65.

99. Костенко, Ю. Г. О проблеме производства мяса длительного срока годности [Текст] / Ю. Г. Костенко, Б. Е. Гутник, М. Х. Искаков // Все о мясе. – 2009. – № 6. – С. 18–20.

100. Костенко, Ю. Г. Применение ионизирующих излучений для улучшения санитарно-микробиологических показателей мяса и мясных продуктов [Текст] / Ю. Г. Костенко, Н. А. Шурдуба, Т. С. Шагова, М. Д. Телегина, В. И. Филатов. – М. : Мясомолочная промышленность, 1992. – 32 с.

101. Кочиева, И. Р. Продукты питания из мяса птицы с антиоксидантными свойствами [Текст] / И. Р. Кочиева, И. Б. Басиева, К. И. Казинец // Актуальные проблемы экологии и сохранения биоразнообразия России и сопредельных стран.

Владикавказ : Северо-Осетинский государственный университет им. К. Л. Хетагурова, 2014. – С. 205–209.

102. Круглякова, К. Е. Общие представления о механизме действия антиоксидантов [Текст] / К. Е. Круглякова, Л. Н. Шишкина // Исследование синтетических и природных антиоксидантов *in vitro* и *in vivo* : сб. ст. – М. : Наука, 1992. – С. 5–8.

103. Кудряшов, Л. С. Влияние стрессоустойчивости цыплят-бройлеров на теплофизические характеристики мяса [Текст] / Л. С. Кудряшов, С. В. Шихалев, С. Л. Тихонов, Н. В. Тихонова, А. О. Приймак // Мясная индустрия. – 2016. – № 10. – С. 50–52.

104. Кудряшов, Л. С. Обработка охлажденного мяса высоким давлением и сроки хранения [Текст] / Л. С. Кудряшов, А. Б. Лисицын, С. Л. Тихонов, Н. В. Тихонова, А. Ю. Волков, А. В. Александров // Мясная индустрия. – 2016. – № 2. – С. 37–40.

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

106. Кузин, А. М. Прикладная радиобиология [Текст] / А. М. Кузин, Д. А. Каущанский. – М. : Энергоиздат, 1981. – 221 с.

107. Куциняк, И. Морфологический состав мяса самцов кабана, благородного оленя, косули и некоторых домашних животных [Текст] / И. Куциняк // *Stiinta Agricola*. – 2014. – № 2. – С. 112–114.

108. Лапин, А. А. Антиоксидантные свойства продуктов растительного происхождения [Текст] / А. А. Лапин, М. Ф. Борисенков, А. П. Карманов, И. В. Бердник, Л. С. Кочева, Р. З. Мусин, И. М. Магдеев // Химия растительного сырья. – 2007. – № 2. – С. 79.

109. Лебедева, С. Н. Оценка антиоксидантного потенциала мясных продуктов и сырья [Текст] / С. Н. Лебедева, С. Д. Жамсаранова // Вестник Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления. – 2016. – № 3. – С. 39–45.

110. Лебская, Т. К. Применение пиковолновой обработки для регулирования созревания и повышения безопасности пресервов из мяса карпа [Текст] / Т. К. Лебская, Н. В. Голембовская // Вестник Астраханского государственного технического университета. Сер.: Рыбное хозяйство. – 2015. – № 2. – С. 116–122.

111. Липатов, Н. Н. Некоторые аспекты моделирования аминокислотной сбалансированности пищевых продуктов [Текст] / Н. Н. Липатов // Пищевая и перерабатывающая промышленность. – 1986. – № 4. – С. 49–51.

112. Липатов, Н. Н. Принципы проектирования состава и совершенствования технологии многокомпонентных мясных и молочных продуктов [Текст] : автореф. ... д-ра техн. наук : 05.18.04 / Липатов Никита Николаевич. – М., 1988. – 56 с.

113. Липатов, Н. Н. Совершенствование методики проектирования биологической ценности пищевых продуктов [Текст] / Н. Н. Липатов, А. Б. Лисицын, С. Б. Юдина // Мясная индустрия. – 1996. – № 1. – С. 14–15.

114. Липатов, Н. Н. Формализованный анализ amino- и жирнокислотной сбалансированности сырья, перспективного для проектирования продуктов детского питания с задаваемой пищевой адекватностью [Текст] / Н. Н. Липатов, Г. Ю. Сажин, О. И. Башкиров // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2001. – № 8. – С. 11–14.

115. Лисицын, А. Б. Изучение влияния длительного холодильного хранения на аминокислотный состав мяса [Текст] / А. Б. Лисицын, И. М. Чернуха, Н. Л. Вострикова, Н. А. Горбунова // Международная научно-практическая конференция, посвященная памяти В. М. Горбатова. – 2012. – Т. 1, № 1. – С. 226–232.

116. Лисицын, А. Б. Окисление липидов: механизм, динамика, ингибирование [Текст] / А. Б. Лисицын, Е. К. Туниева, Н. А. Горбатова // Все о мясе. – 2015. – № 1. – С. 10–15.

117. Лумбунов, С. Г. Морфологический, химический состав и пищевая ценность мяса диких копытных животных (изюбрь, косуля) Бурятии [Текст] / С. Г. Лумбунов, А. Б. Жамсаев, С. Б. Ешижамсоева // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В. Р. Филиппова. – 2015. – № 4. – С. 150–153.

118. Ляйтнер, Л. Барьерные технологии: комбинированные методы обработки, обеспечивающие стабильность, безопасность и качество продуктов питания [Текст] / Л. Ляйтнер, Г. М. Гоулд. – М. : ВНИИМП, 2006. – 236 с.

119. Магин, Д. В. Фотохемилюминесценция как метод изучения антиоксидантной активности в биологических системах. Математическое моделирование [Текст] / Д. В. Магин, Д. Ю. Измайлов, И. Н. Попов, Г. И. Левин, Ю. А. Владимиров // Вопросы медицинской химии. – 2000. – Т. 4. – С. 65–68.

120. Макарова, Н. В. Исследования химического состава и антиоксидантных свойств функциональных пищевых продуктов из торговой сети [Текст] / Н. В. Макарова, Д. Ф. Валиулина, А. С. Данчева // Вестник Камчатского государственного технического университета. – 2018. – № 44. – С. 38–49.

121. Максимова, С. Н. Экспериментальное обоснование холодильной технологии трепанга [Текст] / С. Н. Максимова, Т. Н. Слуцкая, А. Г. Ким, Е. В. Федосеева, Д. В. Полещук // Известия Калининградского государственного технического университета. – 2017. – № 44. – С. 133–142.

122. Мамаев, А. В. Изучение биологической ценности мяса птицы как сырья для производства мясных консервов [Текст] / А. В. Мамаев, К. А. Лещуков, Н. Д. Родина, Е. Ю. Сергеева, С. С. Цикин // Продовольственная безопасность: от зависимости к самостоятельности : сб. материалов Всерос. науч.-практ. конф. (Орел, 29 ноября 2017 г.). – Орел : Орловский гос. аграр. ун-т им. Н. В. Парахина, 2017. – С. 159–161.

123. Маркова, И. В. Сравнительная характеристика аминокислотного состава мышечной ткани бычков молочного и мясного направления продуктивности [Текст] / И. В. Маркова // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2013. – № 5(43). – С. 122–124.

124. Медведев, Я. В. Определение миоглобинзависимой пероксидазной активности мышечной ткани [Текст] / Я. В. Медведев, И. С. Шаталов // Биотехнология. Взгляд в будущее : материалы III Междунар. науч. интернет-конф. (Казань, 25–26 марта 2014 г.) : в 2 т.. – Казань : ИП Синяев Дмитрий Николаевич, 2012. – Т. 1. – С. 147–149.

125. Мейсель, М. Н. Научные и практические вопросы лучевой стерилизации и пастеризации [Текст] / М. Н. Мейсель, Н. Д. Черняев // Вестник Академии наук СССР. – 1956. – № 11. – С. 38–45.

126. Метлицкий, Л. В. Радиационная обработка пищевых продуктов [Текст] / Л. В. Метлицкий, В. И. Рогачев, В. Г. Хрущев. – М. : Экономика, 1967. – 160 с.

127. Методы ЭПР и ЯМР в органической и элементоорганической химии [Электронный ресурс] / В. К. Черкасов, Ю. А. Курский, К. А. Кожанов и др. – Н. Новгород : Нижегородский госуниверситет, 2010. – 53 с. – Режим доступа https://www.unn.ru/books/met_files/Cherkasov.pdf (дата обращения: 12.05.2017).

128. Мисин, В. М. Стандартизация терминов и определений в области «антиоксиданты» [Текст] / В. М. Мисин, Н. Г. Храпова, А. Ю. Завьялов, Е. Б. Бурлакова, А. М. Кочнев, Г. Е. Заиков // Вестник Казанского технологического университета. – 2012. – № 17(15). – С. 236–241.

129. Митюрин, Г. С. Определение теплофизических характеристик пищевых продуктов фотоакустическим методом [Текст] / Г. С. Митюрин, А. Е. Жидкова // Потребительская кооперация. – 2015. – № 4(51). – С. 68–72.

130. Михнюк, О. В. К вопросу об изменении азотсодержащих соединений в мышечной ткани форели в процессе длительного низкотемпературного хранения [Текст] / О. В. Михнюк // Вестник Муромского государственного технического университета. – 2006. – Т. 9, № 5. – С. 825–827.

131. Молин, А. А. Развитие нормативного регулирования и популяризация применений радиационных технологий в области пищевой промышленности [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://2019.atomexpo.ru/2012/mediafiles/u/files/Present2012/Molin.pdf> (дата обращения: 16.07.2017).

132. Мониторинг продовольственной безопасности и питания в поддержку осуществления Повестки дня в области устойчивого развития на период до 2030 г.: подведение итогов и планы на будущее [Текст]. – Рим, 2016. – 24 с.

133. Мосолов, А. А. Способ сохранения высокой биологической и пищевой ценности мясного сырья в пищевых продуктах [Текст] / А. А. Мосолов, А. А. Данилеско, С. Е. Скворцов // Аграрно-пищевые инновации. – 2018. – № 2(2). – С. 52–56.

134. МУК 4.2.1847-04. Санитарно-эпидемиологическая оценка обоснования сроков годности и условий хранения пищевых продуктов. Методические указания [Текст]. – М. : Федер. центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. – 31 с.

135. МУК 4.2.2046-06. Методы выявления и определения паразитических вибрионов в рыбе, нерыбных объектах промысла, продуктах, вырабатываемых из них, воде поверхностных водоемов и других объектах. Методические указания [Текст]. – М. : Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2006. – 25 с.

136. Мурашов, И. Д. Обработка мяса и мясных продуктов лазерным облучением как альтернативный способ увеличения хранения [Текст] / И. Д. Мурашов, Д. А. Журавлева // Сборник научных трудов Sword. – 2014. – Т. 8, № 3. – С. 50–55.

137. Мусина, О. Н. Радиационная обработка ионизирующим излучением продовольственного сырья и пищевых продуктов [Текст] / О. Н. Мусина, К. Л. Коновалов // Пищевая промышленность. – 2016. – № 11. – С. 46–49.

138. Надыкта, В. Д. Биоразрушаемая упаковка для пищевых продуктов [Текст] / В. Д. Надыкта // Научные труды Кубанского государственного технологического университета. – 2017. – № 5. – С. 80–92.

139. Настасевич, И. Управление холодильной цепью при поставках мяса: «старые» и новые стратегии [Текст] / И. Настасевич, Б. Лакицевич, З. Петрович // Теория и практика переработки мяса. – 2017. – № 4. – С. 20–34.

140. Наумова, Н. Л. Современный взгляд на проблему исследования антиоксидантной активности пищевых продуктов [Текст] / Н. Л. Наумова // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Сер.: Пищевые и биотехнологии. – 2014. – № 1(2). – С. 5–8.

141. Научные основы применения радиационных технологий в сельском хозяйстве [Текст] / Н. И. Санжарова, С. А. Гераськин, Н. Н. Исамов и др. – Обнинск : ВНИИСХРАЭ, 2013. – 133 с.

142. Неваленная, А. А. Сравнительный анализ органолептических характеристик диетических чипсов, приготовленных по новой технологии [Текст]

/ А. А. Неваленная, Н. В. Долганова // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. – 2017. – № 3(44). – С. 61–65.

143. Никитина, М. А. Информационные технологии в разработке многокомпонентных мясных продуктов с учетом биологической ценности [Текст] / М. А. Никитина, Д. В. Завгородцева, Е. Б. Сусь // Все о мясе. – 2014. – № 4. – С. 48–51.

144. Никитина, М. А. Контроль за качеством белка с помощью компьютерных технологий [Текст] / М. А. Никитина, Е. Б. Сусь // Инновационные исследования и разработки для научного обеспечения производства и хранения экологически безопасной сельскохозяйственной и пищевой продукции : материалы Междунар. науч.-практ. конф. (Краснодар, 6–26 апреля 2015 г.) – Краснодар : Всерос. НИИ табака, махорки и табачных изделий, 2015. – С. 381–384.

145. Николаев, И. В. Изучение механизмов антиоксидантного действия пептидов и их композиций [Текст] : автореф. дис. ... канд. хим. наук : 03.01.04 / Николаев Илья Владимирович. – М., 2012. – 25 с.

146. Ногина, А. А. Применение арбиногалактана при производстве колбасных изделий из мясного сырья с отклонениями в процессе автолиза [Текст] / А. А. Ногина, С. Л. Тихонов, Н. В. Тихонова, А. В. Мифтахутдинов, В. Г. Шелепов, Е. В. Улитин // АПК России. – 2017. – № 1(24). – С. 160–164.

147. О мерах по дальнейшему совершенствованию организационных форм работы с использованием экспериментальных животных [Текст] : приказ Министерства здравоохранения СССР от 12 августа 1977 г. № 755.

148. Общие методы Кодекса для определения облученных пищевых продуктов (CODEX STAN 231-2001, rev. 1-2003) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.fao.org.ru> (дата обращения: 15.08.2018).

149. Общий стандарт на маркировку предварительно упакованных пищевых продуктов (CODEX STAN 1-1985, rev. 1-1991) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.fao.org.ru> (дата обращения: 15.08.2018).

150. Общий стандарт на пищевые продукты, обработанные ионизирующим излучением (CODEX STAN 106-1983, rev. 1-2003) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.fao.org.ru> (дата обращения: 15.08.2018).

151. Окислительный стресс. Проксиданты и антиоксиданты [Текст] / Е. Б. Меньшикова, В. З. Ланкин, Н. К. Зенков и др. – М. : Слово, 2006. – 556 с.

152. Окислительный стресс: природа, вклад в патогенез, защита и диагностика / Х. З. Брайнина, Е. Л. Герасимова, Я. Е. Казаков, М. Я. Ходос // Химический анализ в медицинской диагностике / под ред. Г. К. Будникова. – М. : Наука. – 2010. – Т. 11. – С. 132–163.

153. Орехова, С. М. Радиационно-химическое консервирование мышечной ткани свинины [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.18.04 / Орехова Светлана Михайловна. – СПб., 2014. – 18 с.

154. Орехова, С. М. Радуризация мышечной ткани свинины [Текст] / С. М. Орехова, А. П. Нечипоренко // Научный журнал НИУ ИТМО. Сер.: Процессы и аппараты пищевых производств. – 2014. – № 1. – С. 273–283.

155. Орехович, В. Н. Денатурация белка [Текст] / В. Н. Орехович, В. О. Шпиктер // Доклады академии наук СССР. – 1955. – Т. 101. – С. 529–533.

156. Павловская, Л. М. Овощные полуфабрикаты – направления совершенствования технологии производства и тенденции развития рынка [Текст] / Л. М. Павловская, Н. В. Федорова-Гудзь // Пищевая промышленность: наука и технологии. – 2016. – № 1(31). – С. 32–38.

157. Памирский, А. С. Интенсивность роста и качество мяса птицы при влиянии электромагнитного излучения [Текст] / А. С. Памирский, А. П. Коняхин // Научно-технический бюллетень института животноводства Национальной академии аграрных наук Украины. – 2013. – № 109–2. – С. 90–95.

158. Пат. 1739766 РФ, МПК G01T 1/04. Пленочная радиохромная индикаторная композиция [Текст] / З. К. Криминская (RU), Н. А. Суровцев (RU), В. С. Иванов (RU), И. А. Боровой (RU), Л. Н. Антропова (RU), А. А. Молин (RU), С. Н. Слюсарь (RU), Н. В. Погорелова (RU). – № 4858285/25 ; заявл. 07.08.90 ; опубл. 15.01.94.

159. Пат. 2009523 РФ, МПК G01T 1/04. Пленочная радиофотолюминесцентная и радиохромная индикаторно-дозиметрическая композиция [Текст] / З. К. Криминская (RU), Л. Н. Антропова (RU), В. П. Дьяков (RU), Н. В. Скуратова (RU), Н. А. Суровцев (RU). – № 5035481/25; заявл. 02.04.92 ; опубл. 15.03.94.

160. Пат. 2100933 РФ, МПК A23B 4/10. Способ обработки свежего мяса или рыбы для хранения [Текст] / Харальд Магистанд Берге (NO). – № 93004528/13 ; заявл. 03.02.93 ; опубл. 10.01.98.

161. Пат. 2129513 РФ, МПК B65D 65/38. Материал для упаковки продуктов [Текст] / Г. И. Касьянов (RU), Р. И. Шаззо (RU), О. И. Квасенков (RU). – № 98102029/13 ; заявл. 30.01.98 ; опубл. 27.04.99.

162. Пат. 2129514 РФ, МПК B65D 65/38. Пищевой упаковочный материал [Текст] / Г. И. Касьянов (RU), Р. И. Шаззо (RU), О. И. Квасенков (RU). – № 98102030/13 ; заявл. 30.01.98 ; опубл. 27.04.99.

163. Пат. 2129515 РФ, МПК B65D 65/38. Материал для упаковки пищевых продуктов [Текст] / Г. И. Касьянов (RU), О. И. Квасенков (RU), Р. И. Шаззо (RU). – № 98102031/13 ; заявл. 30.01.98 ; опубл. 27.04.99.

164. Пат. 2129516 РФ, МПК B65D 65/38, B65D 65/40, B32B 27/18. Упаковочный материал для продуктов питания из мяса и рыбы [Текст] / Г. И. Касьянов (RU), Р. И. Шаззо (RU), О. И. Квасенков (RU). – № 98102036/13 ; заявл. 30. 01.98 ; опубл. 27.04.99.

165. Пат. 2129517 РФ, МПК B65D 65/38. Упаковочный материал для пищевых продуктов [Текст] / Г. И. Касьянов (RU), Р. И. Шаззо (RU), О. И. Квасенков (RU). – № 98102167/13 ; заявл. 30.01.98 ; опубл. 27.04.99.

166. Пат. 2129518 РФ, МПК B65D 65/38. Упаковочный материал для продуктов питания [Текст] / Г. И. Касьянов (RU), Р. И. Шаззо (RU). – № 98102168/13 ; заявл. 30.01.98 ; опубл. 27.04.99.

167. Пат. 2129519 РФ, МПК B65D 65/38. Упаковочный материал для продуктов [Текст] / Г. И. Касьянов (RU), Р. И. Шаззо (RU), О. И. Квасенков (RU). – № 98102169/13 ; заявл. 30. 01. 98 , опубл. 27.04.99.

168. Пат. 2129520 РФ, МПК В65Д 65/38. Упаковочный материал для мясных и рыбных продуктов [Текст] / Г. И. Касьянов (RU), Р. И. Шаззо (RU), О. И. Квасенков (RU). – № 98102335/13 ; заявл. 30.01.98 ; опубл. 27.04.99.

169. Пат. 2130884 РФ, МПК В65Д 65/38. Материал для упаковки мясных и рыбных продуктов [Текст] / Г. И. Касьянов (RU), Р. И. Шаззо (RU), О. И. Квасенков (RU). – № 98102334/13 ; заявл. 30.01.98 ; опубл. 27.05.97.

170. Пат. 2133212 РФ, МПК В65Д 85/00. Упаковочный материал для пищевых продуктов [Текст] / Г. И. Касьянов (RU), А. В. Маркелов (RU), Ю. С. Мусатова (RU), Е. Е. Касьянова (RU), О. В. Сарапкина (RU). – № 98106149/13 ; заявл. 06.04.98 ; опубл. 20.07.99.

171. Пат. 2147548 РФ, МПК В65Д 65/38. Пищевой упаковочный материал [Текст] / Г. И. Касьянов (RU), А. А. Гиш (RU), С. Н. Лопатин (RU), А. В. Маркелов (RU), А. А. Запорожский (RU), О. И. Квасенков (RU). – № 99105089/13 ; заявл. 11 03.99 ; опубл. 22.12.99.

172. Пат. 2217919 РФ, МПК А23В 4/10. Антимикробный состав для покрытия мяса, мясопродуктов, птицы, рыбы и рыбопродуктов для длительного хранения [Текст] / М. А. Дибирасулаев (RU), Е. М. Агарев (RU), Д. М. Дибирасулаев (RU), Л. М. Алигаджиева (RU), О. В. Большаков (RU), М. М. Гитинамагомедов (RU), В. В. Гущин (RU), И. И. Маковеев (RU), Н. В. Комаров (RU), О. Д. Кюрегян (RU). – № 2001128003/13 ; заявл. 16.10.2001 ; опубл. 10.12.2003.

173. Пат. 2235998 РФ, МПК G01N27/60. Способ определения оксидантной/антиоксидантной активности растворов [Текст] / Х. З. Брайнина (RU), А. В. Иванова (RU). – № 2002130523/28 ; заявл. 14.11.2002 ; опубл. 10.09.2004.

174. Пат. 2275032 РФ, МПК А22С 13/00. Пленка, используемая в качестве упаковки и оболочки для мяса и мяса с костями, и пакет, изготовленный из нее [Текст] / ГРУНД Хартмут (DE), ЛАНГ Хорст (DE), ШАУЕР Хельмут (DE). – № 2003125652/13 ; заявл. 01 02.2001 ; опубл. 27.04.2006.

175. Пат. 2275811 РФ, МПК А22С 13/00. Пленка, используемая в качестве упаковки и оболочки для мяса и мяса с костями и пастообразных пищевых продуктов, и пакет, изготовленный из нее [Текст] / ГРУНД Хартмут (DE), ЛАНГ Хорст

(DE), ШАУЕР Хельмут (DE). – № 2003125649/13 ; заявл. 01.02.2001 ; опубл. 10.05.2006.

176. Пат. 2276847 РФ, МПК А22С 13/00. Пленка, используемая в качестве упаковки и оболочки для пастообразных пищевых продуктов, мяса и мяса с костями, и пакет, изготовленный из нее [Текст] / ГРУНД Хартмут (DE), ЛАНГ Хорст (DE), ШАУЕР Хельмут (DE). – № 2003125655/13 ; заявл. 01.02.2001 ; опубл. 27.05.2006.

177. Пат. 2297151 РФ, МПК А23В 4/10, А23Р 1/08. Способ формирования защитного покрытия для хранения рыбной продукции / Г. В. Маслова (RU), Л. А. Сподобина (RU), В. Е. Красавцев (RU), Л. А. Нудьга (RU), В. А. Петрова (RU), А. М. Бочек (RU), Е. Ф. Панарин (RU). – № 2005119909/13 ; заявл. 27.06.2005 ; опубл. 20.04.2007, бюл. № 11.

178. Пат. 2318846 РФ, МПК С08L 023/12, С08К 005/20. Полимерная бактерицидная композиция (варианты) / Э. В. Замыслов (RU), Н. А. Бизяев (RU). – № 2006134393/04 ; заявл. 27.09.2006 ; опубл. 10.03.2008.

179. Пат. 2352126 РФ, МПК А23В 4/10, А23В 4/20. Защитное пленкообразующее покрытие для мяса и мясопродуктов [Текст] / Д. А. Бараненко, В. С. Колодязная. – № 2005138826/13 ; заявл. 13.12.2005 ; опубл. 20.04.2009, бюл. № 11.

180. Пат. 2409959 РФ, МПК А23В 4/10, А23В 4/16, А23L 3/3445, В32В 27/18. Усовершенствованный способ упаковки, который вызывает и поддерживает предпочтительный красный цвет свежего мяса [Текст] / СИДЖЕЛ Дэн Г. (US). – № 2006138620/13 ; заявл. 04.04.2005 ; опубл. 27.01.2011.

181. Пат. 2438359 РФ, МПК А23L 1/317. Способ производства вареных колбас [Текст] / И. С. Хамагаева (RU), Н. В. Дарбакова (RU). – № 2010128016/13 ; заявл. 06.07.2010 ; опубл. 10.01.2012.

182. Пат. 2447667 РФ, МПК А23В 4/10, А23В 4/18, А23L 1/272, В65D 81/28, В65D 65/42. Упаковочные изделия, пленки и способы, которые обеспечивают или сохраняют желаемый цвет мяса [Текст] / СИГЕЛ Дэн Дж. (US), НЕЛЬСОН Кевин Филип (US). – № 2007118300/13; заявл. 16.05.2007 ; опубл. 20.04.2012.

183. Пат. 2544383 РФ, МПК А23В 4/015. Устройство для лазерной обработки мясных полутуш [Текст] / И. Д. Мурашов (RU), Е. Г. Бирюков (RU), Д. А. Еделев (RU). – № 2013156755/13 ; заявл. 20.12.2013 ; опубл. 20.03.2015.

184. Пат. 2571920 РФ, МПК А23В 4/00. Способ хранения рыбы [Текст] / А. С. Романова (RU), Е. Г. Ваганов (RU), С. Л. Тихонов (RU), Н. В. Тихонова (RU), О. В. Чугунова (RU), В. М. Позняковский (RU). – № 2014146345/13 ; заявл. 18.11.2014 ; опубл. 27.12.2015, бюл. № 36.

185. Пат. 2683506 РФ, МПК А23В 4/00. Способ хранения охлажденной рыбы [Текст] / Р. Т. Тимакова (RU), С. Л. Тихонов (RU), Н. В. Тихонова (RU), Ногина А. А. (RU). – № 2018110012 ; заявл. 21.03.2018 ; опубл. 28.03.2019, бюл. № 10.

186. Пат. 2683518 РФ, МПК А23В 4/014, А23В 4/14, А23L 3/26, F25C 1/00, F25C 5/02. Способ увеличения срока хранения вареных колбас [Текст] / Р. Т. Тимакова (RU), С. Л. Тихонов (RU), Н. В. Тихонова (RU), Ногина А. А. (RU). – № 2018112395 ; заявл. 05.04.2018 ; опубл. 28.03.2019, бюл. № 10.

187. Петриченко, Л. К. Влияние ионизирующих излучений на продукты питания [Текст] / Л. К. Петриченко, А. Г. Васильева // Известия вузов. Сер.: Пищевая технология. – 2004. – № 1. – С. 95–98.

188. Петров, А. Н. Применение ионизирующих излучений для оптимизации технологии холодильного хранения плодоовощной продукции [Текст] / А. Н. Петров, Н. С. Шишкина, О. В. Карастоянова, О. А. Ключева, М. Т. Левшенко // Холодильная техника. – 2015. – 11. – С. 51–55.

189. Петрова, Н. О. техническом перевооружении и промышленной безопасности предприятий по хранению и переработке зерна [Текст] / Н. О. Петрова // Хлебопродукты. – 2013. – № 11. – С. 14–16.

190. Пикаев, А. К. Дозиметрия в радиационной химии [Текст] / А. К. Пикаев. – М. : Наука, 1975. – 312 с.

191. Подколзин, А. А. Антиоксидантная защита организма при старении и некоторых патологических состояниях с ними связанных [Текст] / А. А. Подколзин, В. И. Донцов, В. Н. Крутько, А. Г. Мегреладзе, О. М. Мрикаева, Е. А. Жукова // Клиническая геронтология. – 2001. – № 3. – С. 50–58.

192. Полякова, И. В. Использование γ -излучения для холодной стерилизации многокомпонентных продуктов, готовых к употреблению [Текст] / И. В. Полякова, В. О. Кобялко, В. Я. Саруханов, Г. В. Козьмин, Н. И. Санжарова, И. Н. Лыков // Радиация и риск. – 2015. – № 4(24). – С. 43–52.

193. Потери продовольствия и пищевые отходы [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.fao.org/resources/infographics/infographics-details/ru/c/317265> (дата обращения: 15.07.2018).

194. Потороко, И. Ю. Исследование кинетических закономерностей посола мяса птицы с использованием кавитационно-активированных жидких сред [Текст] / И. Ю. Потороко, Л. А. Цирульниченко // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Сер.: Пищевые биотехнологии. – 2014. – Т. 2, № 3. – С. 21–28.

195. Продовольственные потери и пищевые отходы в контексте устойчивых продовольственных систем [Текст] : доклад Группы экспертов высокого уровня по вопросам продовольственной безопасности и питания Комитета по всемирной продовольственной безопасности. – Рим, 2014. – 13 с.

196. Публичный годовой отчет Госкорпорации «Росатом» [Текст]. – М., 2011. – 327 с.

197. Радиационная химия основных компонентов пищевых продуктов [Текст] / под ред. П. С. Элиаса, А. Дж. Кохена. – М. : Легкая и пищевая промышленность, 1983. – 224 с.

198. Радиационные технологии в сельском хозяйстве и пищевой промышленности [Текст] / под общ. ред. Г. В. Козьмина, С. А. Гераськина, Н. И. Санжаровой. – Обнинск : ВНИИРАЭ, 2015. – 400 с.

199. Рекомендуемые международные технические нормы и правила, касающиеся облучения пищевых продуктов (CAC/RCP 19-1979, rev. 2-2003) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.fao.org.ru> (дата обращения: 15.08.2018).

200. Рогачев, В. И. Радиационная обработка пищевых продуктов – эффективный способ их сохранения для увеличения ресурсов питания человечества [Текст] / В. И. Рогачев // Атомная энергия. – 1969. – Т. 26, вып. 2. – С. 165–169.

201. Рогов, И. А. Новые физические методы обработки мясопродуктов [Текст] / И. А. Рогов, А. В. Горбатов. – М. : Пищевая промышленность, 2010. – 304 с.

202. Рогов, И. А. Химия пищи. Принципы формирования качества мясопродуктов [Текст] / И. А. Рогов, А. И. Жаринов, М. П. Всякин. – СПб. : РАПП, 2008. – 340 с.

203. Родина, Т. Г. Сенсорный анализ продовольственных товаров [Текст] : учебник / Т. Г. Родина. – М. : Изд. центр «Академия», 2004. – 208 с.

204. Рождественская, Л. Н. Предпосылки и основания использования ионизирующего излучения для обработки пищевой продукции [Текст] / Л. Н. Рождественская, А. А. Брызгин, М. В. Коробейников // Пищевая промышленность. – 2016 – № 11. – С. 39–45.

205. Руднева, И. И. Эколого-физиологические особенности антиоксидантной системы у рыб и процессов перекисного окисления липидов [Текст] / И. И. Руднева // Успехи современной биологии. – 2003. – Т. 123, № 4. – С. 391–400.

206. Саката, Р. Тенденция развития технологий и исследований мяса и мясных продуктов в Японии [Текст] / Р. Саката // Все о мясе. – 2015. – № 1. – С. 20–24.

207. Самохвалова, Е. В. Влияние обработки мясного сырья высоким давлением на его срок хранения [Текст] / Е. В. Самохвалова, С. Л. Тихонов, Н. В. Тихонова // Аграрно-пищевые инновации. – 2018. – № 1(1). – С. 68–71.

208. Санжарова, Н. И. Радиационная обработка продуктов животного и растительного происхождения в целях микробиологической безопасности [Текст] / Н. И. Санжарова, А. Н. Павлов, Е. П. Пименов, Г. В. Козьмин, В. О. Кобялко, В. Я. Саруханов // Вопросы атомной науки и техники. Сер.: Техническая физика и автоматизация. – 2015. – Вып. 71. – С. 65–72.

209. СанПиН 2.3.2.1078-01. Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов [Текст]. – М. : Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2001. – 200 с.

210. СанПиН 2.3.2.1324-03. Гигиенические требования к срокам годности и условиям хранения пищевых продуктов [Текст]. – М. : Изд. отдел Федерального центра госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. – 80 с.

211. Сарапульцев, Б. И. Генетические основы радиорезистентности и эволюция [Текст] / Б. И. Сарапульцев, С. А. Гераськин. – М. : Энергоатомиздат, 1993. – 208 с.

212. Светлов, Ю. В. Эффективная теплопроводность и внутренняя поверхность переноса пористых и волокнистых структур (на примере пищевых материалов) [Текст] / Ю. В. Светлаков, Ю. Б. Никифоров // Тонкие химические технологии = Fine Chemical Technologies. – 2015. – Т. 10, № 6. – С. 71–78.

213. Симонова, Н. В. Коррекция окислительного стресса природными антиоксидантами [Текст] / Н. В. Симонова, В. А. Доровских, О. Н. Ли, Р. А. Анохина, М. А. Штарберг, Н. П. Симонова // Бюллетень физиологии и патологии дыхания. Дальневосточный научный центр физиологии и патологии дыхания. – 2014. – № 53. – С. 84–88.

214. Системные технологии в обеспечении качества продуктов питания [Текст] / И. Ф. Горлов, М. И. Сложенкина, А. А. Кроткова и др. – Волгоград : Волгогр. гос. техн. ун-т, 2015. – 192 с.

215. Скрябин, К. Г. Хитозан [Текст] / К. Г. Скрябин, С. Н. Михайлов, В. П. Варламов. – М. : Центр «Биоинженерия» РАН, 2013. – 593 с.

216. Сроки реализации, температура и условия хранения основных продовольственных товаров в торговых организациях (предприятиях) системы Министерства торговли РСФСР. Приложение к письму 1987 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://docs.cntd.ru/document/9025683> (дата обращения: 28.09.2018).

217. Стефановский, В. М. Исследование перемещения влаги при подмораживании говяжьего фарша [Текст] / В. М. Стефановский, И. А. Поляков, В. В. Петров // Теория и практика переработки мяса. – 2016. – Т. 1, № 4. – С. 43–50.

218. Стрингер, М. Охлажденные и замороженные продукты [Текст] / М. Стрингер, К. Деннис ; пер. с англ. под науч. ред. Н. А. Уваровой. – СПб. : Профессия, 2004. – 496 с.

219. Сычев, И. А. Биологическая активность растительных полисахаридов [Текст] / И. А. Сычев, О. В. Калинин, Е. А. Лаксаева // Российский медико-биологический вестник имени академика И. П. Павлова. – 2009. – № 4. – С. 143–148.

220. Танана, Л. А. Характеристика качественных показателей мяса бычков различных генотипов [Текст] / Л. А. Танана, О. В. Вертинская, А. А. Гордейчик // Генетика разведения животных. – 2016. – № 4. – С. 27–33.

221. Татарникова, Н. А. Патогенная микрофлора мяса и мясных продуктов [Текст] / Н. А. Татарникова, О. Г. Мауль // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2015. – № 1(51). – С. 87–89.

222. Теплофизические характеристики пищевых продуктов и материалов [Текст] / под ред. А. С. Гинзбурга. – М. : Пищевая промышленность, 1975. – 288 с.

223. Технический регламент Евразийского экономического союза ТР ЕАЭС 040/2016 «О безопасности рыбы и рыбной продукции» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://avet.admsakhalin.ru/assets/files/GOSKONTROL/DLYA%20PROVERKI/KONTROL/razdel-1.pdf> (дата обращения: 21.09.2017).

224. Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 005/2011 «О безопасности упаковки» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.eurasiancommission.org/ru/Lists/EECDocs/P_769_1.pdf (дата обращения: 14.03.2017).

225. Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.eurasiancommission.org/ru/nae/news/Documents/TR%20TS%20PishevayaProd.pdf> (дата обращения: 16.06.2017).

226. Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 022/2011 «Пищевая продукция в части ее маркировки» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.eurasiancommission.org/ru/act/tehnreg/deptexreg/tr/Documents/TrTsPishevkaMarkirovka.pdf> (дата обращения: 11.12.2016).

227. Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 023/2011 «Технический регламент на соковую продукцию из фруктов и овощей» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.eurasiancommission.org/ru/act/tehnreg/deptexreg/tr/Documents/TR%20TS%20SokovayaProd.pdf> (дата обращения: 11.02.2017).

228. Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 034/2013 «О безопасности мяса и мясной продукции» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/499050564> (дата обращения: 02.11.2016).

229. Тимакова, Р. Т. Продовольственный рынок России: облученные пищевые продукты – миф или реальность? [Текст] / Р. Т. Тимакова, С. Л. Тихонов // Индустриализация – основа нового экономического роста Казахстана : материалы VIII Междунар. науч.-практ. конф. (Костанай, 30 ноября 2016 г.). – Костанай : Научно-производственный журнал «Наука», 2016. – Т. 4. – С. 145–147.

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

231. Тимакова, Р. Т. Безопасность облученной пищевой продукции как результат процессного подхода к управлению продовольственной безопасностью [Текст] / Р. Т. Тимакова // Стратегические задачи по научно-техническому развитию АПК : материалы Междунар. науч.-практ. конф. (Екатеринбург, 8–9 февраля 2018 г.). – Екатеринбург : УрГАУ, 2018. – С. 577–584.

232. Тимакова, Р. Т. Биологическая ценность белков облученного мяса птицы [Текст] / Р. Т. Тимакова // Птица и птицепродукты. – 2018. – № 6. – С. 26–28.

233. Тимакова, Р. Т. Влияние ионизирующего излучения на антиоксидантную активность мяса косули [Текст] / Р. Т. Тимакова, С. Л. Тихонов, Н. В. Тихонова, Л. С. Кудряшов, О. А. Кудряшова, Н. Ю. Стожко, Р. В. Ильяхин // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Сер.: Пищевые и биотехнологии. – 2017. – № 2(5). – С. 25–30.

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

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

236. Тимакова, Р. Т. Влияние ионизирующего облучения шейки свиной на изменение липидов [Текст] / Р. Т. Тимакова, С. Л. Тихонов, Н. В. Тихонова, Л. С. Кудряшов, Д. А. Худорожкова // Мясная индустрия. – 2017. – № 12. – С. 20–23.

237. Тимакова, Р. Т. Влияние обработки пряностей ионизирующим излучением на их антиоксидантную активность [Текст] / Р. Т. Тимакова, С. Л. Тихонов, Н. Ю. Стожко, Н. В. Тихонова, А. В. Курдюмов // Агропродовольственная политика России. – 2017. – № 8(68). – С. 110–112.

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

239. Тимакова, Р. Т. Зависимость параметров ЭПР-спектра от вида мяса и рыбы, обработанных ионизирующим излучением [Текст] / Р. Т. Тимакова, С. Л. Тихонов, О. В. Евдокимова, И. В. Бутенко // Гигиена и санитария. – 2018. – № 97(9). – С. 873–877.

240. Тимакова, Р. Т. Инновационные технологии хранения охлажденной рыбы: возможности новой индустриализации [Текст] / Р. Т. Тимакова, С. Л. Тихонов, Н. В. Тихонова // Потребительский рынок: качество и безопасность товаров и услуг : материалы X Междунар. науч.-практ. конф. – Орел : Орловский гос. ун-т им. И. С. Тургенева, 2019. – С. 355–359.

241. Тимакова, Р. Т. Ионизирующее излучение как современная технология хранения охлажденного мяса [Текст] / Р. Т. Тимакова // Инновационные технологии в сфере питания, сервиса и торговли : материалы V Междунар. науч.-практ. конф. (Екатеринбург, 15–16 октября 2018 г.). – Екатеринбург : Изд-во Урал. гос. экон. ун-та, 2018. – С. 226–230.

242. Тимакова, Р. Т. Использование ионизирующего излучения в агропромышленном комплексе [Текст] / Р. Т. Тимакова, С. Л. Тихонов, О. А. Ключков

// Естественный и технические науки в современном мире : сб. ст. X Междунар. науч.-практ. конф. – М. : Научный журнал «Chronos», 2016. – С. 67–73.

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

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

245. Тимакова, Р. Т. Исследование охлажденной рыбы, обработанной ионизирующим излучением [Текст] / Р. Т. Тимакова, А. С. Романова, С. Л. Тихонов, Н. В. Тихонова // АПК России. – 2017. – № 2(24). – С. 456–450.

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

247. Тимакова, Р. Т. Мир пряностей в «бабушкиных» пряниках [Текст] / Р. Т. Тимакова, Д. М. Сушенцова // Современное хлебопекарное производство: перспективы развития : материалы XVII Всерос. заоч. науч.-практ. конф. (Екатеринбург, 18 ноября 2016 г.). – Екатеринбург : Изд-во Урал. гос. экон. ун-та, 2016. – С. 106–110.

248. Тимакова, Р. Т. Новое в национальной нормативной базе по регламентации применения радиационных технологий в пищевой промышленности [Текст] / Р. Т. Тимакова // Актуальные проблемы пищевой промышленности и общественного питания : материалы Междунар. науч.-практ. конф. (Екатеринбург, 19 апреля 2017 г.). – Екатеринбург : Изд-во Урал. гос. экон. ун-та, 2017. – С. 262–267.

249. Тимакова, Р. Т. Оптимизация критериев оценки продовольственной безопасности [Текст] / Р. Т. Тимакова, С. Л. Тихонов // Продовольственная безопасность в контексте новых идей и решений : материалы Междунар. науч.-практ. конф. (Семей, 10 марта 2017 г.) : в 2 т. – Семей : Государственный университет имени Шакарима, 2017. – Т. 1. – С. 181–183.

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

251. Тимакова, Р. Т. От безопасной среды к безопасности пищи [Текст] / Р. Т. Тимакова // Инновационные технологии в пищевой промышленности и общественном питании [Текст] : материалы Всерос. науч.-практ. конф. (Екатеринбург, 17 ноября 2017 г.). – Екатеринбург : Изд-во Урал. гос. экон. ун-та, 2017. – С. 246–249.

252. Тимакова, Р. Т. Оценка антиоксидантной активности свежих яблок разных помологических сортов после обработки ионизирующим излучением [Текст] / Р. Т. Тимакова // Вопросы питания. – 2018. – Т. 87, № 3. – С. 66–71.

253. Тимакова, Р. Т. Оценка показателей свежести радиационно-обработанной свинины / Р. Т. Тимакова // Вестник Камчатского ГТУ. – 2019. – № 47. – С. 62–69.

254. Тимакова, Р. Т. Оценка радиационной безопасности охлажденного мяса с использованием метода электронного парамагнитного резонанса [Текст] / Р. Т. Тимакова, С. Л. Тихонов, А. Н. Тарарков, Л. С. Кудряшов // Теория и практика переработки мяса. – 2016 – № 3. – С. 39–47.

255. Тимакова, Р. Т. Оценка радиационной безопасности пищевых продуктов методом парамагнитного резонанса [Текст] / Р. Т. Тимакова, А. С. Романова, А. В. Курдюмов, А. Н. Тарарков // Агропродовольственная политика России. – 2016. – № 9. – С. 83–88.

256. Тимакова, Р. Т. Показатели свежести молока как индикатор эффективности применения радиационных технологий [Текст] / Р. Т. Тимакова // Техника и технология пищевых производств : материалы XIII Междунар. науч.-техн. конф. (Могилев, 23–24 апреля 2020 г.) : в 2 т. / отв. ред. А. В. Акулич. – Могилев : МГУП, 2020. – Т. 1. – С. 336–337.

257. Тимакова, Р. Т. Потенциометрический метод как современный адаптивный метод исследования антиоксидантной активности пищевых продуктов растительного происхождения [Текст] / Р. Т. Тимакова // II Европейские игры-2019: психолого-педагогические и медико-биологические аспекты подготовки

спортсменов : материалы Междунар. науч.-практ. конф. : в 4 ч. (Минск, Республика Беларусь, 4–5 апреля 2019 г.). – Минск : БГУФК, 2019. – Ч. 2. – С. 279–282.

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

259. Тимакова, Р. Т. Применение радиационных технологий при обработке пищевых продуктов [Текст] / Р. Т. Тимакова, С. Л. Тихонов, Н. В. Тихонова, Б. У. Байхожаева // Инновации в пищевой биотехнологии : сб. тр. Междунар. симпозиума / под общ. ред. А. Ю. Просекова (Кемерово, 14–16 мая 2018 г.). – Кемерово : Кемеровский государственный университет, 2018. – С. 249–253.

260. Тимакова, Р. Т. Радиационная безопасность как составляющая продовольственной безопасности страны [Текст] / Р. Т. Тимакова // Научно-техническое развитие сельского хозяйства и природопользования: взгляд в будущее : материалы Междунар. науч.-практ. конф. (Екатеринбург, 16–17 февраля 2017 г.). – Екатеринбург : УрГАУ, 2017. – С. 482–487.

261. Тимакова, Р. Т. Радиационная безопасность на современном потребительском рынке [Электронный ресурс] / Р. Т. Тимакова // e-FORUM. – 2018. – № 2(3). – Режим доступа : <http://eforum-journal.ru/images/pdf/3/8.pdf> (дата обращения: 01.07.2018).

262. Тимакова, Р. Т. Радиационная обработка молока [Текст] / Р. Т. Тимакова // Молочная промышленность. – 2020. – № 5. – С. 30–31.

263. Тимакова, Р. Т. Радиационные технологии – новые возможности обеспечения продовольственной безопасности [Текст] / Р. Т. Тимакова // Техника и технология пищевых производств : материалы XII Междунар. науч.-практ. конф. (Могилев, 19–20 апреля 2018 г.) : в 2 т. – Могилев : Могилевский гос. ун-т продовольствия, 2018. – Т. 2. – С. 417–418.

264. Тимакова, Р. Т. Радиационные технологии – современный подход к обеспечению безопасности пищевых продуктов [Текст] / Р. Т. Тимакова // Региональный рынок потребительских товаров и продовольственной безопасности

в условиях Сибири и Арктики : материалы VIII Междунар. науч.-практ. конф. (Тюмень, 26 апреля 2019 г.) – Тюмень : ТИУ, 2019. – С. 75–80.

265. Тимакова, Р. Т. Радиационные технологии обработки продовольственного сырья и пищевых продуктов – современный тренд в области технологий хранения [Текст] / Р. Т. Тимакова // Актуальные проблемы пищевой промышленности и общественного питания : материалы II Междунар. науч.-практ. конф. (Екатеринбург, 17 апреля 2018 г.). – Екатеринбург : Изд-во Урал. гос. экон. ун-та, 2018. – С. 108–112.

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

267. Тимакова, Р. Т. Современные методы идентификации свинины, обработанной ионизирующим излучением [Текст] / Р. Т. Тимакова, С. Л. Тихонов, Н. В. Тихонова // Достижение науки и техники АПК. – 2018. – № 10(32). – С. 90–92.

268. Тимакова, Р. Т. Современные способы хранения охлажденной рыбы [Электронный ресурс] / Р. Т. Тимакова // Балтийский морской форум : материалы VI Междунар. Балтийского морского форума 3–6 сентября 2018 г. : в 6 т. – Калининград : Изд-во БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ», 2018. – Т. 4. – С. 141–145. – Режим доступа : http://bgarf.website/academy/publishing/BMF-2018/ТОМ_4.pdf.

269. Тимакова, Р. Т. Современные тенденции развития мясного рынка [Текст] / Р. Т. Тимакова // Новая индустриализация: мировое, национальное, региональное измерение [Текст] : материалы Междунар. науч.-практ. конф. (Екатеринбург, 6 декабря 2016 г.) : в 2 т. – Екатеринбург : Изд-во Урал. гос. экон. ун-та, 2016. – Т. 2. – С. 196–199.

270. Тимакова, Р. Т. Сравнительная характеристика роста, развития и качества мяса бычков черно-пестрой и красной степной пород при разной длительности производственного цикла [Текст] : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук : 06.02.04 / Тимакова Роза Темерьяновна. – Троицк, 1998. – 22 с.

271. Тимакова, Р. Т. Сравнительная характеристика технологических свойств радиационно-обработанного мясного сырья [Текст] / Р. Т. Тимакова // Пищевая промышленность. – 2019. – № 9. – С. 8–12.

272. Тимакова, Р. Т. Сравнительная ЭПР-спектроскопия мясного и рыбного сырья [Текст] / Р. Т. Тимакова // Инновации и продовольственная безопасность. – 2018. – № 3(21). – С. 75–82.

273. Тимакова, Р. Т. Сравнительная ЭПР-спектроскопия разных видов пряностей / Р. Т. Тимакова [Текст] // Инновационные технологии в пищевой промышленности и общественном питании : материалы VI Междунар. науч.-практ. конф. – Екатеринбург : Изд-во Урал. гос. экон. ун-та, 2019. – С. 131–136.

274. Тимакова, Р. Т. ЭПР-спектроскопия пряностей [Текст] / Р. Т. Тимакова, С. Л. Тихонов, А. Н. Тарарков, Д. О. Вахнин // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2016. – № 4. – С. 187–193.

275. Титов, Е. И. Коллагеновая матрица как способ сохранности минорных компонентов в пищевых продуктах [Текст] / Е. И. Титов, Е. В. Литвинова, С. Н. Кидяев, И. О. Артемьева // Все о мясе. – 2019. – № 1. – С. 40–43.

276. Тихонов, А. В. Использование радиационных технологий в сельскохозяйственном производстве [Текст] / А. В. Тихонов, Р. С. Анашкин, А. Е. Крюков // Сборник научных трудов Ставропольского научно-исследовательского института животноводства и кормопроизводства. – 2013. – № 6. – С. 330–333.

277. Тихонов, С. Л. Альтернативная технология обеспечения срока годности мяса – барообработка в мясной промышленности [Текст] / С. Л. Тихонов, Н. А. Тихонова // Ползуновский вестник. – 2018. – № 1. – С. 3–7.

278. Туменов, С. Н. Совершенствование производства мясных продуктов путем применения высоких давлений [Текст] : обзор. информ. / С. Н. Туменов. – М. : АгроНИИТЭИММП, 1989. – 28 с.

279. Улитько, В. Е. О сдвигах аминокислотного состава мяса бройлеров при использовании в рационе пребиотика «Биотроник-Се-Форте» [Текст] / В. Е. Улитько, О. Е. Ерисанова // Вестник Ульяновской сельскохозяйственной академии. – 2016. – № 3. – С. 150–154.

280. Уринбаев, М. Д. Обработка высоким давлением для обеспечения безопасности и длительности сроков хранения продуктов питания [Текст] / М. Д. Уринбаев, Н. К. Кокумбекова // Инновационные технологии производства и хранения материальных ценностей для государственных нужд. – 2015. – № 3(3). – С. 316–321.

281. Устойчивое рыболовство и аквакультура для обеспечения продовольственной безопасности и питания [Электронный ресурс] : доклад. – Рим, 2014. – Режим доступа : <http://www.fao.org/3/a-i3844r.pdf> (дата обращения: 01.10.2019).

282. Ухарцева, И. Ю. Антисептические свойства активных полимерных упаковочных пленок [Текст] / И. Ю. Ухарцева, А. В. Макаревич, В. А. Гольдаде, Д. А. Орехов // Хранение и переработка сельхозсырья. – 1994 – № 5. – С. 46–48.

283. Федотова, О. Б. Исследование возможности получения упаковки для пищевых продуктов, модифицированной природным антимикробным компонентом [Текст] / О. Б. Федотова, М. Ю. Нагорный, А. В. Шалаева // Международная научно-практическая конференция, посвященная памяти Василия Матвеевича Горбатова. – 2012. – Т. 2, № 2. – С. 145–149.

284. Филиппов, В. И. Применение методов регулярного теплового режима для определения теплофизических характеристик пищевых продуктов [Текст] / В. И. Филиппов // Научный журнал Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий. Сер.: Процессы и аппараты пищевых производств. – 2015. – № 3. – С. 22–30.

285. Фомин, А. А. Изменение аминокислотного состава белков мяса при облучении [Текст] / А. А. Фомин // Гигиена и санитария. – 1969. – № 9. – С. 60–63.

286. Хакимова, Е. Г. Об опасности радиационной обработки пищевых продуктов [Текст] / Е. Г. Хакимова, М. Р. Вахитов, З. А. Петухова, А. А. Уриев, И. С. Докучаева // Технология и продукты здорового питания : материалы IX Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 20-летию специальности (Саратов, 1–12 декабря 2015 г.). – Саратов : Центр соц. агроинноваций СГАУ, 2015. – С. 424–427.

287. Халтурин, С. А. Фракционный состав белка мяса разного вида [Текст] / С. А. Халтурин // Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства. – 2018. – № 20. – С. 210–212.

288. Хамаганова, И. В. Влияние биологически активной добавки «Селенопропионикс» на потребительские свойства мясных изделий функционального назначения [Текст] / И. В. Хамаганова, И. С. Хамагаева, Н. Н. Слепцов // Вестник Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления. – 2010. – № 3(30). – С. 47–51.

289. Харенко, Е. Н. Определение переводных коэффициентов для расчета среднедушевого потребления рыбы и рыбной продукции населением Российской Федерации [Текст] / Е. Н. Харенко, М. А. Пенкин, А. В. Сопина, Н. Н. Яричевская // Вопросы статистики. – 2014. – № 11. – С. 38–53.

290. Харенко, Е. Н. Посмертные изменения мышечной ткани минтая [Текст] / Е. Н. Харенко, К. А. Жукова // Труды ВНИРО. – 2017. – Т. 165. – С. 127–133.

291. Харенко, Е. Н. Рыбное хозяйство: проблемы учета выпуска продукции [Текст] / Е. Н. Харенко // Рыбное хозяйство. – 2015. – № 4. – С. 45–48.

292. Хасанов, В. В. Методы исследования антиоксидантов [Текст] / В. В. Хасанов, Г. Л. Рыжова, Е. В. Мальцева // Химия растительного сырья. – 2004. – № 3. – С. 63–75.

293. Храмеева, Н. П. Применение природных и синтетических антиоксидантов для стабилизации пищевых продуктов [Текст] / Н. П. Храмеева, О. Т. Касаикина // Вестник Российского экономического университета им. Г. В. Плеханова. – 2005. – № 3. – С. 85–92.

294. Цюпко, Т. Г. Определение суммарного содержания антиоксидантов методом FRAP [Текст] / Т. Г. Цюпко, И. С. Петракова, Н. С. Бриленок и др. // Аналитика и контроль. – 2011. – № 3(15). – С. 287–298.

295. Черкасов, В. К. Методы ЭПР и ЯМР в органической и элементоорганической химии [Электронный ресурс] : учеб. пособие / В. К. Черкасов, Ю. А. Курский, К. А. Кожанов и др. – Н. Новгород : Нижегород. гос. ун-т им. Н. И. Лобачевского, 2010. – Режим доступа https://www.unn.ru/books/met_files/Cherkasov.pdf (дата обращения: 12.05.2017).

296. Чеснокова, И. И. Биомаркеры черноморских рыб как показатели экологического состояния среды их обитания [Текст] : автореф. дис. ... канд. биол. наук : 03.02.10 / Чеснокова Ирина Игоревна. – Севастополь, 2017. – 22 с.

297. Чиж, Т. В. Радиационная обработка как технологический прием в целях повышения уровня продовольственной безопасности [Текст] / Т. В. Чиж, Г. В. Козьмин, Л. П. Полякова, Т. В. Мельникова // Вестник Российской академии естественных наук. – 2011. – № 4. – С. 44–49.

298. Шабловская, И. С. Об опасности воздействия радиации на продукты питания [Текст] / И. С. Шабловская, Т. А. Харламова // Хранение и переработка сельхозсырья. – 1997. – № 7. – С. 54–56.

299. Шабров, А. В. Биохимические основы действия микрокомпонентов пищи [Текст] / А. В. Шабров, В. А. Дадали, В. Г. Макаров. – М. : Аввалон, 2003. – 184 с.

300. Шаповал, С. Л. Рем-фотограмметрия в экспресс-диагностике теплофизических свойств товаров [Текст] / С. Л. Шаповал, Р. Ю. Шевченко // Товары и рынки. – 2014. – № 2 (18). – С. 36–45.

301. Шестопалова, И. А. Биологическая ценность белков мяса кур несушек [Текст] / И. А. Шестопалова, Н. А. Уварова // Научный журнал Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий. Сер.: Процессы и аппараты пищевых производств. – 2012. – № 2. – С. 46–51.

302. Шехаб Т. Влияние способов приготовления на аминокислотный состав мяса [Текст] / Т. Шехаб // Теория и практика переработки мяса. – 2016. – № 4. – С. 11–18.

303. Шипулин, В. И. Установка для обработки пищевых сред низкочастотным электромагнитным полем с модулируемыми характеристиками [Текст] / В. И. Шипулин, М. Г. Барышев, Г. И. Касьянов, Е. А. Ольховатов // Вестник Северо-Кавказского федерального университета. – 2017. – № 5(62). – С. 52–59.

304. Электронный парамагнитный резонанс [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://lib.sinp.msu.ru/static/tutorials/43_EPR2001.pdf (дата обращения: 28.07.2017).

305. Эмануэль, Н. М. Торможение процессов окисления жиров [Текст] / Н. М. Эмануэль, Ю. Н. Лясковская. – М. : Пищепромиздат, 1961. – 359 с.

306. Эрлихман, В. Н. Расчетное определение теплофизических характеристик замороженных пищевых продуктов [Текст] / В. Н. Эрлихман, Л. Кукелка, А. Копец // Известия Калининградского государственного технического университета. – 2011. – № 21. – С. 28–33.

307. Юдин, И. В. Радиационные технологии, как ключевой элемент «сквозных» технологий [Текст] / И. В. Юдин, А. А. Персинен, О. П. Никотин // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета). – 2016. – № 36(62). – С. 7–11.

308. Яковлева, Л. А. Полимерная упаковка нового поколения с бактерицидными свойствами [Текст] / Л. А. Яковлева, Б. Ф. Колесников, Г. А. Кондрашов, А. В. Маркелов // Хранение и переработка сельхозсырья. – 1999. – № 6. – С. 44–45.

309. Яшин, Я. И. Проблема определения содержания антиоксидантов [Текст] / Я. И. Яшин, А. Я. Яшин // Метрология. – 2009. – № 8(69). – С. 50–53.

310. Abdel-Rehim, F. The use of electron spin resonance spectroscopy for the detection of irradiated mackerel [Text] / F. Abdel-Rehim et al. // Applied Radiation and Isotopes. – 1997. – Vol. 48, no. 2. – P. 241–245.

311. Aguiar, J. Microencapsulation of natural antioxidants for food application. [Text] / J. Aguiar, B. N. Estevinho, L. Santos // Trends in food science and technology. – 2016. – Vol. 58. – P. 21–39.

312. Ahn, D. U. Analysis of volatile components and the sensory characteristics of irradiated raw pork [Text] / D. U. Ahn, C. Jo, D. G. Olson // Meat science. – 2000. – Vol. 54, no. 3. – P. 209–215.

313. Ahn, J. Inactivation kinetics of selected aerobic and anaerobic bacterial spores by pressure-assisted thermal processing [Text] / J. Ahn, V. M. Balasubramaniam, A. E. Yousef // International Journal of Food Microbiology. – 2007. – Vol. 113, no. 3. – P. 321–329.

314. AIR products PLC. The Freshline guide to modified atmosphere packaging (MAP) [Text]. – Basingstoke, 1996. – 66 p.

315. Albertia, A. Irradiated bivalve mollusks: Use of EPR spectroscopy for identification and dosimetry [Text] / A. Albertia et al. // *Radiation Physics and Chemistry*. 2011. – No. 12 (80). – P. 1363–1370.

316. Al-Kahtani, H. A. Amino acid and protein changes in tilapia and Spanish mackerel after irradiation and storage [Text] / H. A. Al-Kahtani, H. M. Abu-Tarboush, M. Atiaидр // *Radiation Physics and Chemistry*. – 1998– Vol. 51, no. 1. – P. 107–114.

317. Anderle, H. Detection and dosimetry of irradiated biominerals with thermoluminescence, radiolyoluminescence and electron spin resonance measurements: comparison of methods [Text] / H. Anderle // *Radiation Measurements*. – 1998. – Vol. 29, no. 5. – P. 531–551.

318. Andrews, L. S. Food preservation using ionizing radiation [Text] / L. S. Andrews, M. Ahmedna, R. M. Grodner, J. A. Liuzzo, P. S. Murano, E. A. Murano, R. M. Rai, S. Shane, P. W. Wilson // *Review of Environmental Contaminant Toxicology*. – 1998. – Vol. 154. – P. 1–53.

319. Anellis, A. Low-temperature irradiation of beef and methods for evaluation of a radappertization process [Text] / A. Anellis, E. Shattuck, D. B. Rowley, E. W. Ross, D. N. Whaley, V. R. Dowell // *Applied Microbiology*. – 1975. – Vol. 30. – P. 811–820.

320. Ansari, A. A. Radiation Threats and Your Safety: A Guide to Preparation and Response for Professionals and Community [Text] / A. A. Ansari. – CRC Press, 2010. – 344 p.

321. Antolovich, M. Methods for Testing Antioxidant Activity [Text] / M. Antolovich, P. D. Prenzler, E. Patsalides, S. Mc. Donald, K. Robards // *Analyst*. – 2002. – Vol. 127. – P. 183–198.

322. Antonio, A. L. Effects of gamma radiation on the biological, physicochemical, nutritional and antioxidant parameters of chestnuts [Text] / A. L. Antonio, M. Caroch, A. Bento, B. Quintana, M. L. Botelho, I. C. F. R. Ferreira // *Food and chemical toxicology*. – 2012. – Vol. 50, no. 9. – P. 3234–3242.

323. Arabas, J. New technique for kinetic studies of pressure-temperature induced changes of biological materials [Text] / J. Arabas, J. Szczepek, L. Dmowski et. al. ; ed.

by H. Ludwig. – *Advances in High Pressure Bioscience and Biotechnology*, Verlag, Heidelberg : Springer, 1999. – P. 537–540.

324. Arvanitoyannis, I. S. Impact of irradiation on fish and sea food shelf life: A comprehensive review of applications and irradiation detection [Text] / I. S. Arvanitoyannis, A. Stratakos, E. Mente // *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. – 2009. – № 49(1). – P. 68–112.

325. Arvanitoyannis, I. S. Irradiation of Food Commodities: Techniques, applications, Detection, Legislation, Safety and Consumer Opinion [Text] / I. S. Arvanitoyannis. – Elsevier, 2010. – 703 p.

326. ASTM F1885-04. Standard Guide for Irradiation of Dried Spices, Herbs, and Vegetable Seasonings to Control Pathogens and Other Microorganisms [Text]. American Society for Testing and Materials. Philadelphia, 2004. – Reapproved, 2010. – 5 p.

327. Bajželj, B. Importance of food-demand management for climate mitigation [Text] / B. Bajželj, K. S. Richards, J. M. Allwood, P. Smith, J. S. Dennis, E. Curmi, C. A. Gilligan // *Nature Climate Change*. – 2014. – № 4. – P. 924–929.

328. Barr, D. Measuring Oxidation of Cooking oil using EPR Spin Trapping [Electronic resource] / D. Barr, G. Reynhout, J. Guzinski. – URL : <https://www.bruker.com/news.html> (accessed: 31.08.2016).

329. Benzie, I. F. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of «antioxidant power»: the FRAP assay [Text] / I. F. Benzie, J. J. Strain // *Analytical Biochemistry*. – 1996. – Vol. 239, no. 1. – P. 70–76.

330. Bhatia, S. S. Benchmarking the minimum Electron Beam (eBeam) dose required for the sterilization of space foods [Text] / S. S. Bhatia, K. R. Wall, C. R. Chris et al. // *Radiation physics and chemistry*. – 2018. – Vol. 143. – P. 72–78.

331. Block, G. Fruit, vegetables, and cancer prevention: a review of the epidemiological evidence [Text] / G. Block, B. Patterson, A. Subar // *Nutr Cancer*. – 1992. – Vol. 18. – P. 1–29.

332. Borenstein, B. Potentiation of the ascorbate effect in cured meat pigment development [Text] / B. Borenstein // *Journal of Food Science*. – 1986. – Vol. 41, no. 5. – P. 1054–1055.

333. Brainina, Kh. Z. Antioxidant activity evaluation assay based on peroxide radicals generation and potentiometric measurement [Text] / Kh. Z. Brainina, E. L. Gerasimova, O. T. Kasaikina, A. V. Ivanova // *Analytical Letters*. – 2011. – Vol. 44. – P. 1405–1415.

334. Brainina, Kh. Z. Noninvasive potentiometric method of determination of skin oxidant / antioxidant activity [Text] / Kh. Z. Brainina, L. G. Galperin, E. L. Gerasimova, M. Y. Khodos // *IEEE Sensors Journal*. – 2011. – Vol. 12, no. 3. – P. 527–532.

335. Brainina, Kh. Z. Potentiometric method for evaluating the oxidant / antioxidant activity of seminal and follicular fluids and clinical significance of this parameter for human reproductive function [Text] / Kh. Z. Brainina, E. L. Gerasimova, D. P. Varzakova, S. L. Balezin, I. G. Portnov, V. A. Makutina, E. V. Tyrchaninova // *The Open Chemical and Biomedical Methods Journal*. – 2012. – No. 5. – P. 1–7.

336. Brainina, Kh. Z. Potentiometry as a method of antioxidant activity investigation [Text] / Kh. Z. Brainina, A. V. Ivanova, E. N. Sharafutdinova, E. L. Lozovskaya, E. I. Shkarina // *Talanta*. – 2007. —Vol. 71, no. 1. – P. 13–18.

337. Brewer, M. S. Irradiation effect son meat flavor: A review [Text] / M. S. Brewer // *Meat science*. – 2009. – Vol. 81, no. 1. – P. 1–14.

338. Brown, D. Integrating electron beam equipment into food processing facilities: strategies and design considerations [Text] / D. Brown // *Electron Beam Pasteurization and Complementary Food Processing Technologies*. – 2014. – P. 27–46.

339. Buratti, S. Rapid electrochemical method for the evaluation of the antioxidant power of some lipophilic food extracts [Text] / S. Buratti, N. Pellegrini, O. V. Brenna et al. // *Agricultural and Food Chemistry*. – 2001. – Vol. 49, № 11. – P. 5136–5141.

340. Campbell, L. Tools and Methodologies for Urban Food Security Assessment, Targeting and Distribution: dissertation (MA degree in Development and Emergency Practice) [Electronic resource] / L. Campbell. – Oxford : Oxford Brookes University, 2013. – URL : <https://www.architecture.brookes.ac.uk/research/cendep/dissertations/L-Campbell-MA-DEP-Dissertation.pdf> (accessed: 04.04.2017).

341. Cao, G. Comparison of different analytical methods for assessing total antioxidant capacity of human serum [Text] / G. Cao, R. L. Prior // *Clinical Chemistry*. – 1998. – Vol. 44. – P. 1309–1315.

342. Cao, G. Oxygen-radical absorbance capacity assay for antioxidants [Text] / G. Cao, H. M. Alessio, R. G. Cutler // *Free Radical Biology and Medicine*. – 1993. – Vol. 14, no. 3. – P. 303–311.

343. Castro, J. A. Hydroxyl and 1-hydroxyethyl radical detection by spin trapping and GC-MS [Text] / J. A. Castro, G. D. Castro // *Methods in Molecular Biology*. – 2002. – Vol. 186. – P. 89–99.

344. Chauhan, S. K. Detection Methods for Irradiated Foods [Text] / S. K. Chauhan, R. Kumar, S. Nadasabapathy, A. S. Bawa // *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. Institute of Food Technologists. – 2009. – Vol. 8. – P. 4–16.

345. Cheftel, J. C. Effect of high-pressure on meat: a review [Text] / J. C. Cheftel // *Meat Science*. – 1995. – Vol. 46, № 3. – P. 211–236.

346. Chen, Q. Determination of total polyphenols content in green tea using FT-NIR spectroscopy and different PLS algorithms [Text] / Q. Chen, J. Zhao, M. Liu, J. Cai, and J. Liu. // *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*. – 2008. – Vol. 46, no. 3. – P. 568–573.

347. Chiaravalle, A. E. Electron spin resonance (ESR) detection of irradiated fish containing bone (gilthead sea bream, cod, and swordfish) [Text] / A. E. Chiaravalle, M. Mangiacotti, G. Marchesani, G. Vegliante // *Vet Res Commun*. – 2010. – No. 34 (1). – P. 149–152.

348. Chlopin, G. W. Über den Einfluß hoher Drucke auf Mikroorganismen [Text] / G. W. Chlopin, G. Z. Tamman // *Zeitschrift für Hygiene und Infektionskrankheiten*. – 1903. – Vol. 45. – S. 171–179.

349. Christen, W. G. Dietary-3 fatty acid and fish intake and incident age-related vascular degeneration in women [Text] / W. G. Christen, D. A. Schaumberg, R. J. Glynn, J. E. Buring // *A. M. A. Archives of Ophthalmology*. – 2011. – Vol. 129. – P. 21–29.

350. Cui, L. Q. Phospholipids in foods: prooxidants or antioxidants? [Text] / L. Q. Cui, E. A. Decker // *Journal of the Science of Food and Agriculture*. – 2016. – Vol. 96, no. 1. – P. 18–31.

351. Dasgupta, A. Antioxidants in Food, Vitamins and Supplements. Prevention and Treatment of Disease [Text] / A. Dasgupta, K. Klein. – Elsevier, 2014. – P. 1–16.

352. Dauphin, J. Radiation chemistry of carbohydrates [Text] / J. Dauphin, L. R. Sant-Lébe // *Radiation chemistry of major food components* / ed. by P. S. Elias, A. J. Cohen. – Amsterdam : Elsevier, 1977. – P. 131–185.

353. Day, B. P. F. MAP goes online [Text] / B. P. F. Day, R. Wiktorowicz // *Food Manuf.* – 1999. – № 74(6). – P. 40–41.

354. Day, B. P. F. Novel MAP – A brand new approach [Text] // *Food Manuf.* – 1998. – No. 73(11). – P. 24–26.

355. Desrosiers, M. F. Gamma-irradiated seafood's: identification and dosimetry by electron paramagnetic resonance spectroscopy [Text] / M. F. Desrosiers // *Journal of agricultural and food chemistry*. – 1989. – Vol. 37. – P. 96.

356. Determination of total polyphenols content in green tea using FT-NIR spectroscopy and different PLS algorithms [Text] / C. Quansheng et al. // *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*. – 2008. – Vol. 46, no. 3. – P. 568–573.

357. Dias, T. G. Physicochemical characterization, antioxidant activity and total phenolic content in 'Gala' apples subjected to different UV-C radiation doses [Text] / T. G. Dias, A. C. V. Boas, M. B. A. Junqueira, L. C. D. Lima // *Acta Scientiarum Agronomy*. – 2017. – Vol. 39, № 1. – P. 67–73.

358. Diehl, J. F. Food irradiation: is it an alternative to chemical preservatives? [Text] / J. F. Diehl // *Food Additives and Contaminants*. – 1992. – Vol. 9, no. 5. – P. 409–416.

359. Diehl, J. F. Radiolytic effect in foods [Text] / J. F. Diehl // *Preservation of foods radiation*. Vol. 1 / ed. by E. S. Josephson, M. S. Peterson. – Boca Raton, FL : CRC Press, 1982. – P. 279–357.

360. Dionísio, A. P. Ionizing radiation effects on food vitamins – a review [Text] / A. P. Dionísio, R. T. Gomes, M. Oetterer // *Brazilian Archives of Biology and Technology*. – 2009. – Vol. 52, no. 5. – P. 1267–1278.

361. Dood, N. J. The ESR detection of irradiated food [Text] / N. J. Dodd, J. S. Lea, A. J. Swallow // *International journal of applied radiation and isotopes*. – 1989. – Vol. 40. – P. 1211–1214.

362. *Dosimetry for Food Irradiation* [Text]. – Vienna : International Atomic Energy Agency, 2002. – 161 p.

363. Duong, D. Q. Improving ground beef safety and stabilizing color during irradiation using antioxidants, reductants or TSP [Text] / D. Q. Duong, P. G. Crandall, F. W. Pohlman, C. A. O'Bryan, C. W. Balentine, A. Castillo // *Meat science*. – 2008. – Vol. 78, no. 4. – P. 359–368.

364. Dussault, D. Combined effect of gamma-irradiation and bacterial-fermented dextrose on microbiological quality of refrigerated pork sausages [Text] / D. Dussault, C. Benoit, M. Lacroix // *Radiation Physics and Chemistry*. – 2012. – Vol. 81, no. 8. – P. 1098–1102.

365. Dzhulamanov, K. M. The effect of different body composition types on beef quality in young bulls [Text] / K. M. Dzhulamanov, M. P. Dubovskova, N. P. Gerasimov, G. N. Urynbaeva // *Modern Applied Science*. – 2015. – Vol. 9, no. 9. – P. 45–53.

366. Ehlermann, D. A. E. Wholesomeness of irradiated food [Text] / D. A. E. Ehlermann // *Radiation physics and chemistry*. – 2016. – Vol. 129. – P. 24–29.

367. Elhakeim, N. F. Nutritional – evaluation of irradiated animal protein by-products [Text] / N. F. Elhakeim, R. M. YousriI, E. A. Hilali et al. // *Isotopenpraxis*. – 1991. – Vol. 27, no. 3. – S. 104–108.

368. Erkan, M. Effect of UV treatment on antioxidant capacity, antioxidant enzyme activity and decay in strawberry fruit [Text] / M. Erkan, S. Y. Wang, S. Y. , C. Y. Wang et al. // *Postharvest Biology and Technology*. – 2008. – Vol. 48, no. 2. – P. 163–171.

369. Erkan, N. Alternative seafood preservation technologies: ionizing radiation and high pressure processing [Electronic resource] / N. Erkan, A. Günlü, I. Genc // *Journal of Fisheries Sciences*. com. 2014. – No. 8(3). – P. 238–251. – URL :

<http://www.fisheriessciences.com/fisheries-aqua/alternative-seafood-preservation-technologies-ionizing-radiation-and-high-pressure-processing.pdf> (accessed: 03.02.2017).

370. Evan, J. T. Preserving Foods through by destrough pathogenic and spoilage organisms while keeping food chemistry basically intact, high-pressure technology enables pasteurization of food wich minimal effects on taste, texture, appearance, or nutritional value [Text] / J. T. Evan, D. Farkas, V. M. (Bala) Balasubramaniam // Food Technology. – 2008. – Vol. 60. – P. 32–38.

371. Fan, X. T. Control of ionizing radiation-induced lipid oxidation and volatile sulfur compounds using antioxidants in ready-to-eat (RTE) meat products [Text] / X. T. Fan // Abstracts of papers of the American Chemical Society on 228th National Meeting of the American-Chemical-Society. –2004. – Vol. 228. – P. 58.

372. Fanaro, G. B. Effects of gamma-radiation on microbial load and antioxidant proprieties in black tea irradiated with different water activities [Text] / G. B. Fanaro, N. M. A. Hassimotto, D. H. M. Bastos, A. L. C. H. Villavicencio // Radiation Physics and Chemisnry. – 2014. – Vol. 97. – P. 217–222.

373. Fanaro, G. B. Effects of gamma-radiation on microbial load and antioxidant proprieties in green tea irradiated with different water activities [Text] / G. B. Fanaro, N. M. A. Hassimotto, D. H. M. Bastos, A. L. C. H. Villavicencio // Radiation Physics and Chemisnry. – 2015 – Vol. 107. – P. 40–46.

374. Farooqui, A. A. N-3 fatty acid-derived lipid mediators in the brain: new weapons against oxidative stress and inflammatory [Text] / A. A. Farooqui // Current Medicinal Chemistry. – 2012. – Vol. 19. – № 4. – P. 532–543.

375. Floyd, R. A. Antioxidants, oxidative stress and degenerative neurological disorders [Text] / R. A. Floyd // Journal of Biochemical and Biophysical Methods. – 1984. – Vol. 10. – P. 236–245.

376. Food Code / U. S. Public Health Service: FDA [Electronic resource]. – URL : <https://www.fda.gov> (accessed: 01.10.2017).

377. Food Irradiation Research and Technology [Text] / ed. by C. H. Sommers, X. Fan. – Oxford : Blackwell, 2006. – 317 p.

378. Food irradiation: principles and applications [Text] / ed. by R. A. Molins. – New York : Wiley, 2001. – 488 p.

379. Fox, J. B. Effect of reductant level in skeletal muscle and liver on the rate of loss of thiamin due to γ -radiation [Text] / J. B. Fox, L. Lakritz, D. W. Thayer // International journal of radiation biology. – 1993. – Vol. 64, no. 3. – P. 305–309.

380. Gautam, S. Food processing by irradiation – an effective technology for food safety and security [Text] // S. Gautam, J. Tripathi // Indian journal of experimental biology. – 2016. – Vol. 54, no. 11. – P. 700–707.

381. Genç, İ. Y. Elimination of foodborne pathogens in seafoods by irradiation: Effects on quality and shelf-life [Text] / İ. Y. Genç, A. Diler // Journal of Food Science and Engineering. – 2013. – No. 3. – P. 99–106.

382. Gerolis, L. G. L. Effect of gamma radiation on antioxidant capacity of green tea, yerba mate, and chamomile tea as evaluated by different methods [Text] / L. G. L. Gerolis, F. S. Lameiras, K. Krambrock, M. J. Neves // Radiation Physics and Chemistry. – 2017. – Vol. 130. – P. 177–185.

383. Ghiselli, A. A fluorescence-based method for measuring total plasma antioxidant capability [Text] / A. Ghiselli, M. Serafini, G. Maiani, E. Azzini, A. Ferro-Luzzi // Free Radical Biology and Medicine. – 1995. – Vol. 18(1). – P. 29–36.

384. Ghosh, D. Black tea extract: a supplementary antioxidant in radiation-induced damage to DNA and normal lymphocytes [Text] / D. Ghosh, S. Pal, C. Saha, A. K. Chakrabarti, S. C. Datta, S. K. Dey // Journal of Environmental Pathology Toxicology and Oncology. – 2012. – Vol. 31, no. 2. – P. 155–166.

385. Global Food Losses and Food Waste: extent, causes and prevention [Electronic resource]. – Rome : FAO, 2011. – 32 p. – URL : <http://www.fao.org/3/a-i2697e.pdf> (accessed: 23.02.2017).

386. Goldblith, S. A. Basic principles of microwaves and recent developments [Text] / S. A. Goldblith // Advances Food Research. – 1966. – Vol. 15. – P. 277–301.

387. Gölge, E. The effects of food irradiation on quality of pine nut kernels [Text] / E. Gölge, G. Ova // Radiation Physics and Chemistry. – 2008. – Vol. 77, no. 3. – P. 365–369.

388. González-Aguilar, G. A. Improving antioxidant capacity of fresh-cut mangoes treated with UV-C [Text] / G. A. González-Aguilar, M. A. Villegas-Ochoa, Martínez-Téllez et al. // *Journal of Food Science*. – 2007. – Vol. 72(3). – P. 197–202.

389. González-Aguilar, G. A. UV-C irradiation reduces breakdown and chilling injury of peaches during cold storage [Text] / G. A. González-Aguilar, C. Y. Wang, J. G. Buta et al. // *Journal of the Science of Food and Agriculture*. – 2004. – Vol. 84. – P. 415–422.

390. Goresline, H. E. Tentative classification of food irradiation processes with microbiological objectives [Text] / H. E. Goresline, M. Ingram, P. Macuch, G. Mocquot, D. A. A. Mossell, C. F. Niven, F. S. Thatcher // *Nature*. – 1964. – Vol. 204. – P. 237–238.

391. Goulas, A. E. Effect of various parameters of irradiated fish and oregano using the ESR and PSL methods / A. E. Goulas, M. Stahl, K. A. Riganakos [Text] // *Food Control*. – 2008. – Vol. 19. – P. 1076–1085.

392. Gray, R. The effect of post-irradiation cooking on the ESP signal in irradiated chicken drumsticks / R. Gray, M. H. Stevenson [Text] // *International journal of food science and technology*. – 1989. – Vol. 24. – P. 447–450.

393. Grazia, L. Azione di lattobacilli omo- ed eterofermentanti sulla composizione e dell'ammuffimento dei salumi [Text] / L. Grazia, S. Rainieri, C. Zambonelli, C. Chiavari // *Industrie Alimentari*. – 1998. – Vol. 37. – № 372. – P. 852–855.

394. Green, B. E. Lipid oxidation in irradiated cooked beef [Text] / B. E. Green, B. M. Watts // *Food technology*. – 1966. – Vol. 20, № 8. – P. 111–114.

395. Guerrero, R. F. Monitoring the process to obtain red wine enriched in resveratrol and piceatannol without quality loss [Text] / R. F. Guerrero, B. Puertas, M. J. Jiménez et al. // *Food Chemistry*. – 2010. – Vol. 122. – P. 195–202.

396. Halliwell, B. Free radicals in biology and medicine [Text] / B. Halliwell, J. M. C. Gutteridge. – 5th ed. – Oxford : Oxford University Press, 2015. – 961 p.

397. Halvorsen, B. L. A systematic screening of total antioxidants in dietary plants [Text] / B. L. Halvorsen, K. Holte, M. C. Myhrstad, I. Barikmo, E. Hvattum, S. F. Remberg, A. B. Wold, K. Haffner, H. Baugerod, L. F. Andersen, O. Moskaug, D. R. Jr. Jacobs, R. Blomhoff // *Journal of Nutrition*. – 2002. – Vol. 132. – P. 461–471.

398. Handbook on meat and meat processing [Text] / ed. by Y. H. Hui et al. – CRC Press, 2012. – 982 p.

399. Hasler, C. Phytochemicals: biochemistry and physiology: introduction [Text] / C. Hasler, J. Blumberg // Journal of Nutrition. – 1999. – Vol. 129. – P. 756–757.

400. Hayman, M. Effects of high-pressure processing on the safety, quality, and shelf life of ready-to-eat meats [Text] / M. Hayman, I. Baxter, P. J. Oriordan, C. M. Stewart // Journal of Food Prot. – 2004. – Vol. 67(8). – P. 1709–1718.

401. Heremans, K. High pressure effects on proteins and other biomolecules [Text] / K. Heremans // Annual Reviews in Biophysics and Bioengineering. – 1982. – Vol. 11, no. 1. – P. 1–21.

402. Hoffmann, B. Glutaraldehyde and oxidised dextran as crosslinker reagents for chitosan-based scaffolds for cartilage tissue engineering [Text] / B. Hoffmann, D. Seitz, A. Mencke, A. Kokott, G. Ziegler // Journal Mater Sci: Mater Med. – 2009. – Vol. 20, no. 7. – P. 1495–1503.

403. Honikel, K. O. Biochemie, Biophysik und Analyticdes Fleisches [Text] / K. O. Honikel // Journal Fleischwirtschaft. – 1989. – № 9. – P. 217–221.

404. Huis in't Veld, J. H. J. Microbial and biochemical spoilage of foods: an overview [Text] / J. H. J. Huis in't Veld // Journal of Food Microbiology. – 1996. – Vol. 33. – P. 1–18.

405. Imeh, U. Distribution of conjugated and free phenols in fruits: antioxidant activity and cultivar variations [Text] / U. Imeh, S. Khokhar // Journal of Agricultural and Food Chemistry. – 2002. – Vol. 50, no. 22. – P. 6301–6306.

406. International Atomic Energy Agency [Electronic resource]. – URL : <https://www.iaea.org> (accessed: 15.03.2017).

407. International Consultative Group on Food Irradiation: Review of Data on High Dose (10–70 kGy) Irradiation of Food [Electronic resource] : Report of a Consultation, Karlsruhe (29 August – 2 September 1994). – Geneva : World Health Organization, 1994. – URL : <https://www.who.int> (accessed: 26.01.2017).

408. Irradiation in the Production, Processing, and Handling of Food; Proposed Rule [Electronic resource] / The Food and Drug Administration (FDA). – URL : <https://www.fda.gov> (accessed: 06.10.2017).

409. Irradiation of Food Commodities: techniques, applications, detection, legislation, safety and consumer opinion [Text] / ed. by I. S. Arvanitoyannis. – Amsterdam : Elsevier, 2010. – 710 p.

410. Ito, V. C. Effects of gamma radiation on the phenolic compounds and in vitro antioxidant activity of apple pomace flour during storage using multivariate statistical techniques [Text] / V. C. Ito, A. Alberti, S. Avila, M. Spoto, A. Nogueira, G. Wosiacki // Innovative Food Science and Emerging Technologies. – 2016. – Vol. 33. – P. 251–259.

411. Jacobsen, C. Stabilization of omega-3 oils and enriched foods using antioxidants [Text] / C. Jacobsen, N. S. Nielsen, A. F. Horn, A-D. M. Sorensen // Food Enrichment with omega-3 fatty acids. Series of books: Wood head Publishing in Food Science Technology and Nutrition. Elsevier Science, 2013. – Vol. 252. – P. 130–149.

412. Javanmard, M. Effects of gamma irradiation and frozen storage on microbial, chemical and sensory quality of chicken meat in Iran [Text] / M. Javanmard et al. // Food control. – 2006. – Vol. 17, no. 6. – P. 469–473.

413. Jayasena, D. D. Taste-active compound levels in Korean native chicken meat: The effect of bird age and the cooking process [Text] / D. D. Jayasena, S. Jung, H. J. Kim, H. I. Yong, K. C. Nam, C. Jo // Poultry Science. – 2015. – Vol. 94, no. 8. – P. 1964–1972.

414. Jeremiah, L. E. Packaging alternatives to deliver fresh meats using short- or long-term distribution [Text] / L. E. Jeremiah // Food Research International. – 2001. – Vol. 34, no. 9. – P. 749–772.

415. Jiang, J. Natural antioxidants as food and feed additives to promote health benefits and quality of meat products [Text] / J. Jiang, Y. L. Xiong // Meat Science. – 2016. – Vol. 120. – P. 107–117.

416. Kaimbaeva, L. A. Study of autolytic changes in red deer meat and beef [Text] / L. A. Kaimbaeva, G. V. Gurinovich // Indian Journal of Science and Technology. – 2016. – T. 9, no. 30. – C. 98747.

417. Kameník, J. Vacuum skin packaging and its effect on selected properties of beef and pork meat [Text] / J. Kameník, A. Saláková, Z. Pavlík, G. Bořilová, R. Hulančková, I. Steinhauserová // *European Food Research and Technology*. – 2014. – Vol. 239, no. 3. – P. 395–402.

418. Kanatt, S. R. Antioxidant potential of mint (*Mentha spicata* L.) in radiation - processed lamb meat [Text] / S. R. Kanatt, R. Chander, A. Sharma. // *Food Chemistry*. – 2007. – Vol. 100, no. 2. – P. 451–458.

419. Kanatt, S. R. Effect of radiation processing on meat tenderisation [Text] / S. R. Kanatt, S. P. Chawla, A. Sharma // *Radiation Physics and Chemistry*. – 2015. – Vol. 111. – P. 1–8.

420. Karaman, S. Comparison of total antioxidant capacity and phenolic composition of some apple juices with combined HPLC-CUPRAC assay [Text] / S. Karaman, E. Tütem, K. SözgenBaskan, R. Apak // *Food Chemistry*. – 2010. – Vol. 120, no. 4. – P. 1201–1209.

421. Karłowski, K. Effects of high pressure treatment on the microbiological quality, texture and colour of vacuum packed pork meat products [Text] / K. Karłowski, B. Windyga, M. Fonberg-Broczek et al. // *High Pressure Research*. – 2002. – Vol. 22, no. 3–4. – P. 725–732.

422. Kilbum, R. E. Terni. Studies on a radiation-resistant pigmented *Sarcina* sp. [Text] / R. E. Kilbum, W. D. Bellamy, S. A. Terni // *Journal of Radiation Research*. – 1958. – Vol. 9. – P. 207–215.

423. Kildeeva, N. R. About mechanism of chitosan cross-linking with glutaraldehyde [Text] / N. R. Kildeeva, P. A. Perminov, L. V. Vladimirov, V. V. Novikov, S. N. Mikhailov // *Russian Journal of Bioorganic Chemistry*. – 2009. – Vol. 35, no. 3. – P. 360–369.

424. Kilmartin, P. A. Electrochemical detection of natural antioxidant: principles and protocols [Text] / P. A. Kilmartin // *Antioxidants and Redox Signalling*. – 2001. – Vol. 3. – P. 941–955.

425. Kim, Y. H. High-oxygen modified atmosphere packaging system induces lipid and myoglobin oxidation and protein polymerization [Text] / Y. H. Kim, E. Huff-

Lonergan, J. G. Sebranek, S. M. Lonergan // *Meat Science*. – 2010. – Vol. 85, no 4. – P. 759–767.

426. Kitazuru, E. R. Effects of irradiation on natural antioxidants of cinnamon (*Cinnamomum zeylanicum* N.) [Text] / E. R. Kitazuru, A. V. B. Moreira, J. Mancini-Filho, H. Delincée, A. L. Villavicencio // *Radiation Physics and Chemistry*. – 2004. – Vol. 71, no. 1–2. – P. 39–41.

427. Knorr, D. Hydrostatic pressure treatment of food: microbiology [Text] / D. Knorr // *New Methods of Food Preservation* / ed. by G. W. Gould. – London, 1995. – P. 159–175.

428. Kocherginsky, N. M. Antioxidant pool in beer and kinetics of EPR spin-trapping [Text] / N. M. Kocherginsky, Yu. Yu. Kostetski, A. I. Smirnov // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. – 2005. – Vol. 53, no. 17. – P. 6870–6876.

429. Komolprasert, V. Packaging food for radiation processing [Text] / V. Komolprasert // *Radiation physics and chemistry*. – 2016. – Vol. 129. – P. 35–38.

430. Korotkova, E. I. Investigation of antioxidant and catalytic properties of some biologically active substances by voltammetry [Text] / E. I. Korotkova, Y. A. Karbainov, O. A. Avramchic // *Analytical and Bioanalytical Chemistry*. – 2003. – Vol. 375, no. 3. – P. 465–468.

431. Korotkova, E. I. Study of antioxidant properties by voltammetry [Text] / E. I. Korotkova, Y. A. Karbainov, A. V. Shevchuk // *Journal of Electroanalytical Chemistry*. – 2002. – Vol. 518, no. 1. – P. 56–60.

432. Korotkova, T. I. Study of antioxidant properties of a water-soluble Vitamin E derivative-tocopherol monoglucoside (TMG) by differential pulse voltammetry [Text] / E. I. Korotkova, O. A. Avramchik, T. V. Kagiya et al. // *Talanta*. – 2004. – Vol. 63, no. 3. – P. 729–734.

433. Krasovska, A. Chemiluminescence detection of peroxy radicals and comparison of antioxidant activity of phenolic compounds [Text] / A. Krasovska, D. Rosiak, K. Czkapiak, M. Lukaszewicz // *Current Topics Biophys.* – 2000. – Vol. 24. – P. 89–95.

434. Kraybill, H. F. Nutritional and biochemical aspects of foods preserved by ionizing radiation [Text] / H. F. Kraybill // *Journal of home economics*. – 1958. – Vol. 50, no. 9. – P. 695–700.

435. Kume, T. Status of food irradiation in the world [Text] / T. Kume, M. Furuta, S. Todorikis, N. Uenoyama, Y. Kobayashi // *Radiation Physics and Chemistry*. – 2009. – Vol. 73. – P. 222–226.

436. Kwon, J-H. Effect of electron-beam irradiation before and after cooking on the chemical properties of beef, pork and chicken [Text] / J.-H. Kwon, Y. Kwon, K.-C. Namb, E. J. Lee, D. U. Ahn // *Meat science*. – 2008. – Vol. 80, № 3. – P. 903–909.

437. Lagerstedt, A. Vacuum skin pack of beef – a consumer friendly alternative [Text] / A. Lagerstedt, M. L. Ahnström, K. Lundström // *Meat Science*. – 2011. – Vol. 88. – P. 391–396.

438. Lea, J. S. A method of testing for irradiation of poultry / J. S. Lee et al. // *International journal of food science and technology*. – 1988. – Vol. 23. – P. 625–632.

439. Lee, J. W. Combined effects of gamma irradiation and rosemary extract on the shelf-life of a ready-to-eat hamburger steak [Text] / J. W. Lee, K. S. Park, J. G. Kim, S. H. Oh, Y. S. Lee, J. H. Kim, M. W. Byun // *Radiation Physics & Chem.* – 2005. – Vol. 72, no. 1. – P. 49–56.

440. Leung, H. W. Ecotoxicology of glutaraldehyde: Review of environmental fate and effects studies [Text] / H. W. Leung // *Ecotoxicol. Environ. Saf.* – 2001. – Vol. 49. – P. 26–39.

441. Li, X. Influence of vacuum skin packaging on color stability of beef longissimus lumborum compared with vacuum and high-oxygen modified atmosphere packaging [Text] / X. Li, G. Lindahl, G. Zamaratskaia, K. Lundström // *Meat Science*. – 2012. – Vol. 92. – P. 604–609.

442. Lichtenthaler, R. Total oxidant scavenging capacities of common European fruit and vegetable juices [Text] / R. Lichtenthaler, F. Marx // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. – 2005. – Vol. 53. – P. 103–110.

443. Lund, M. N. High-oxygen packaging atmosphere influences protein oxidation and tenderness of porcine longissimus dorsi during chill storage [Text] / M. N. Lund,

R. Lametsch, M. S. Hviid, O. N. Jensen, L. H. Skibsted // *Meat Science*. – 2007. – Vol. 77, no. 3. – P. 295–303.

444. Mahmoud, B. S. M. Effect of X-ray treatments on inoculated *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella enterica*, *Shigella flexneri* and *Vibrio parahaemolyticus* in ready-to-eat shrimp [Text] / B. S. M. Mahmoud // *Food Microbiology*. – 2009. – Vol. 26. – P. 860–864.

445. Malton, R. Refrigerated retail display for fresh meat [Text] / R. Malton // *Institute of Meat Bulletin*. – 1976. – Vol. 91. – P. 17–19.

446. Marathe, S. A. Effect of radiation processing on nutritional, functional, sensory and antioxidant properties of red kidney beans [Text] / S. A. Marathe, R. Deshpande, A. Khamesra, G. Ibrahim, S. N. Jamdar // *Radiation Physics and Chemistry*. – 2016. – Vol. 125. – P. 1–8.

447. Margosch, D. High-pressure-mediated survival of *Clostridium botulinum* and *Bacillus amyloliquefaciens* endospores at high temperature [Text] / D. Margosch, M. A. Ehrmann, R. Buckow, V. Heinz, R. F. Vogel, M. G. Gänzle // *Applied and Environ. Microbiology* – 2006. – Vol. 72(5). – P. 3476–3481.

448. McMillin, K. W. Where is MAP Going? A review and future potential of modified atmosphere packaging for meat [Text] / K. W. McMillin // *Meat Science*. – 2008. – Vol. 80, no. 1. – P. 43–65.

449. Melki, M. Studies the effects of low dose of gamma rays on the behaviour of chickpea under various conditions / M. Melki, D. Sallami // *Pakistan Journal of Biological Sciences*. – 2008. – Vol. 11. – P. 2326–2330.

450. Millar, S. J. The effect of ionizing radiation on the CIELAB color coordinates of chicken breast meat as measured by different instruments [Text] / S. J. Millar, B. W. Moss, D. B. Macdougall, M. H. Stevenson // *Journal Food Science and Technology*. – 1995. – Vol. 30. – P. 663–674.

451. Miyagusku, L. Avaliação microbiológica e sensorial da vida-útil de cortes de peito de frango irradiados [Text] / L. Miyagusku, F. Chen, M. F. F. Leitão, O. Baffa // *Food Science and Technology*. – 2003. – Vol. 23. – P. 7–16.

452. Mohamed, W. S. Evaluation of sanitary status of imported frozen fish fillets and its improvement by gamma radiation [Text] / W. S. Mohamed, E. I. El-Mossalami, S. M. Nosier // *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*. – 2009. – Vol. 2, no. 5. – P. 921–931.

453. Monaca, S. D. Identification of irradiated oysters by EPR measurements on shells [Text] / S. D. Monaca // *Radiation Measurements*. – 2011. – No. 9(46). – P. 816–821.

454. Moy, J. H. Radurization and radicidation: fruits and vegetables [Text] / J. H. Moy // *Preservation of Food by Ionizing Radiation*, vol. 3 / ed. by E. S. Josephson, M. S. Peterso. – Boca Raton, FL ^ CRC Press, 1983. – P. 83–108.

455. Myslyva, T. Assessment of environmental safety of food and drinking water [Text] / T. Myslyva, Yu. Bilyavskyj, P. Nadtochu, L. Gerasymchuk // *Науковий вісник НУБІП України. Серія: Біологія, біотехнологія, екологія*. – 2016. – № 234. – С. 57–70.

456. Natural and induced radioactivity in food. IAEA-TECDOC-1287 [Text]. – Vienna : IAEA, 2002. – 136 p .

457. Nemzer, B. V. Comparison of the study of the antioxidant activities of fruits and vegetables by oxygen radical absorbance capacity and amperometric methods [Text] / B. V. Nemzer, A. Ya. Yashin, Ya. I. Yashin, N. I. Chernousova // *4th International Conference on Polyphenols Application. From Source to optimal industrial uses: State-of-the-art and future trends*. – Malta, 2007. – P. 87.

458. Norhana, M. N. W. Prevalence, persistence and control of Salmonella and Listeria in shrimp and shrimp products: a review [Text] / M. N. W. Norhana, S. E. Poole, H. C. Deeth, G. A. Dykes // *Food Control*. – 2010. – Vol. 21, no. 4. – P. 343–361.

459. Okamoto, A. Effects of high hydrostatic pressure-thawing on pork meat [Text] / A. Okamoto, A. Suzuki // *Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi*. – 2001. – No. 48 (12). – P. 891–898.

460. Oxyradical production as a pollution mediated mechanism of toxicity in the common mussel *Mytilus edulis* and other mollusks [Text] / D. R. Livingston, P. G. Martinez, X. Michel // *Functional Ecology*. – 1990. – Vol. 4, no. 3. – P. 415–424.

461. Özden, Ö. M. Effect of different dose gamma radiation and refrigeration on the chemical and sensory properties and microbiological status of aqua cultured sea bass (*Dicentrarchus labrax*) [Text] / Ö. M. Özden, N. Erkan // *Radiation Physics and Chemistry*. – 2007. – No. 76. – P. 1169–1178.

462. Özden, Ö. M. Preservation of iced refrigerated sea bream (*Sparus aurata*) by irradiation: microbiological, chemical and sensory attributes [Text] / Ö. M. Özden, N. Erkan // *European Food Research and Technology*. – 2007. – No. 225. – P. 797–805.

463. Patrakova, I. S. The study of factors affecting the activity of meat antioxidant system [Text] / I. S. Patrakova, G. V. Gurinovich // *Foods and Raw Materials*. – 2015. – Vol. 3, no. 1. – P. 33–40.

464. Patterson, M. F. Sensitivity of bacteria to irradiation on poultry meat under various atmospheres [Text] / M. F. Patterson // *Letters in Applied Microbiology*. – 1988. – Vol. 7. – P. 55–58.

465. Pelicia, K. Chicken meat submitted to gamma radiation and packed with or without oxygen [Text] / K. Pelicia, E. A. Garcia, A. B. Molino, G. G. Santos, J. A. Vieira, D. A. Berto // *Brazilian Journal of Poultry Science*. – 2015. – Vol. 17, no. 2. – P. 255–261.

466. Pellegrini, N. Total antioxidant capacity of plant food, beverages, and oils consumed in Italy assessed by three different in vitro assays [Text] / N. Pellegrini, M. Serafini, B. Colombi, D. D. Rio, S. Salvatore, M. Bianchi, F. Brighenti // *Journal of Nutrition*. – 2003. – Vol. 133. – P. 2812–2819.

467. Pillai, S. D. Electron beam technology and other irradiation technology applications in the food industry [Text] / S. D. Pillai, S. Shayanfar // *Topics in Current Chemistry*. – 2017. – Vol. 375, no. 1. – P. 6.

468. Pillai, S. D. Electron beam processing of fresh produce – A critical review [Text] / S. D. Pillai, S. Shayanfar // *Radiation physics and chemistry*. – 2018. – Vol. 143. – P. 85–88.

469. Prakash, A. Effects of low-dose gamma irradiation on the shelf life and quality characteristics of cut Romaine lettuce packaged under modified atmosphere [Text]

/ A. Prakash, A. R. Guner, E. Caporaso, D. M. Foley // *Journal of Food Science*. – 2000. – Vol. 65. – P. 549–553.

470. Prakash, A. Particular applications of food irradiation fresh produce [Text] / A. Prakash // *Radiation physics and chemistry*. – 2016. – Vol. 129. – P. 50–52.

471. Prescott, S. C. The effect of radium rays on the colon bacillus, the diphtheria bacillus and yeast [Text] / S. C. Prescott // *Science*. – 1904. – Vol. 20, no. 503. – P. 246–248.

472. Prior, R. L. In vivo total antioxidant capacity: comparison of different analytical methods [Text] / R. L. Prior, G. Cao // *Free Radical Biology and Medicine*. – 1999. – Vol. 27, no. 11–12. – P. 1173–1181.

473. Radola, B. L. Identification of irradiated meat by thin layer gel chromatography and thin layer isoelectric focusing [Text] / B. L. Radola // *Identification of irradiated foodstuffs*. – Luxemburg : Commission of the European Communities, 1974. – P. 27–44.

474. Raut, A. D. Effectiveness of radiation processing in elimination of *Campylobacter* from poultry meat [Text] / A. D. Raut, R. Shashidhar, J. R. Bandekar, B. P. Kapadnis // *Radiation Physics and Chemistry*. – 2012. – Vol. 81, № 1. – P. 82–85.

475. Read, M. S. Successive generation rat feeding studies with a composite diet of gamma-irradiated foods [Text] / M. S. Read, G. J. Isaac, H. F. Kraybill, S. W. Thompson, W. Worth // *Toxicology and applied pharmacology*. – 1961. – Vol. 3, no. 2. – P. 153–173.

476. Rice-Evans, C. A. Structure-antioxidant activity relationships of flavonoids and phenolic acids [Text] / C. A. Rice-Evans, N. J. Miller, G. Paganga // *Free Radical Biology and Medicine*. – 1996. – Vol. 20, no. 7. – P. 933–956.

477. Rivero-Perez, M. D. Antioxidant profile of red wines evaluated by total antioxidant capacity, scavenger activity, and biomarkers of oxidative stress methodologies [Text] / M. D. Rivero-Perez, P. Muniz, M. L. Gonzalez-SanJose // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. – 2007. Vol. 55, no. 14. – P. 5476–5483.

478. Rodney, M. L. Active food packaging [Text] / ed. by M. L. Rodney. – London : Chapman & Hall, 1995. – 260 p.

479. Roginsky, V. Review of methods to determine chain-breaking antioxidant activity in food [Text] / V. Roginsky, E. A. Lissi // *Food Chemistry*. – 2005. – Vol. 92. – P. 235–254.

480. Romani, R. J. Radiobiological parameters in the irradiation of fruits and Vegetables [Text] / R. J. Romani // *Advances in Food Research*. – 1996. – Vol. 15. – P. 57–103.

481. Saito, K. Antioxidative properties of tripeptide libraries prepared by the combinatorial chemistry [Text] / K. Saito, D. H. Jin, T. Ogawa, K. Muramoto, E. Hatakeyama, T. Yasuhara, K. Nokihara // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. – 2003. – Vol. 51. – P. 3668–3674.

482. Sajilata, M. G. Effect of irradiation and storage on the antioxidative activity of cashew nuts [Text] / M. G. Sajilata, R. S. Singhal // *Radiation Physics and Chemistry*. – 2006. – Vol. 75, no. 2. – P. 297–300.

483. Sakalar, E. Molecular DNA-based detection of ionizing radiation in meat [Text] / E. Sakalar // *Journal of the Science of Food and Agriculture*. – 2017. – Vol. 97, no. 7. – P. 2100–2106.

484. Sallam, K. I. Chemical, sensory and shelf life evaluation of sliced salmon treated with salts of organic acids [Text] / K. I. Sallam // *Food Chemistry*. – 2007. – Vol. 101. – P. 592–600.

485. Sanches-Silva, A. Trends in the use of natural antioxidants in active food packaging [Text] / A. Sanches-Silva, D. Costa, T. G. Albuquerque, G. G. Buonocore, F. Ramos, M. C. Castilho, A. V. Machado, H. S. Costa // *Food Additives and Contaminants Part A – Chemistry Analysis Control Exposure and Risk Assessment*. – 2014. – Vol. 31, no. 3. – P. 374–395.

486. Sardarodiyani, M. Natural antioxidants: sources, extraction and application in food systems [Text] / M. Sardarodiyani, A. M. Sani // *Nutrition and Food Science*. – 2016. – Vol. 46, no. 3. – P. 363–373.

487. Savage, G. P. Fatty acid and tocopherol contents and oxidative stability of walnut oils [Text] / G. P. Savage, P. C. Dutta, D. L. Mc. Neil // *Journal of the American Oil Chemists' Society*. – 1999. – Vol. 76, no. 9. – P. 1059–1063.

488. Schlesier, K. Assessment of antioxidant activity by using different in vitro methods [Text] / K. Schlesier, M. Harwat, V. Bohm // *Free Radical Res.* – 2002. – Vol. 36. – P. 177–187.

489. Shelef, L. A. Indirect and miscellaneous antimicrobials [Text] / L. A. Shelef, J. Seiter // *Antimicrobials in Food* / ed. by P. M. Davidson, J. N. Sofos, A. L. Branen. – 3rd edition. – CRC Press, 2005. – P. 11–48.

490. Sin, D. W. M. Identification and stability study of irradiated chicken, pork, beef, lamb, fish and mollusk shells by electron paramagnetic resonance (EPR) spectroscopy [Text] / D. W. M. Sin, Y. C. Wong, M. W. Y. Yao, E. Marchioni // *European Food Research and Technology.* – 2005. – Vol. 221, no. 5. – P. 684–691.

491. Siringan, P. Autolytic activity and biochemical characteristics of endogenous proteinases in Indian anchovy (*Stolephorus indicus*) [Text] / P. Siringan, N. Raksakulthai, J. Yongsawatdigul // *Food Chemistry.* – 2006. – Vol. 98. – P. 678–684.

492. Sommers, C. H. Food irradiation research and technology [Text] / C. H. Sommers, X. Fan (ed.). – New York : Wiley-Blackwell, 2008. – 336 p.

493. Sommers, C. Inactivation of *Staphylococcus saprophyticus* in chicken meat and purge using thermal processing, high pressure processing, gamma radiation, and ultraviolet light (254 nm) [Text] / C. Sommers, S. Sheen, O. J. Scullen, W. Mackay // *Food Control.* – 2017. – Vol. 75. – P. 78–82.

494. Sonntag, C. V. Free-radical reactions of carbohydrates as studied by radiation techniques [Text] / C. V. Sonntag // *Advances in carbohydrate chemistry and biochemistry.* – 1980. – Vol. 37. – P. 7–77.

495. Štajner, D. Irradiation effects on phenolic content, lipid and protein oxidation and scavenger ability of soybean seeds [Text] / D. Štajner, M. Milošević, B. M. Popović // *International Journal of Molecular Sciences.* – 2007. – Vol. 8, no. 7 – P. 618–627.

496. Stefanova, R. Irradiation of Food, Current Legislation Framework, and Detection of Irradiated Foods [Text] / R. Stefanova, N. V. Vasilev, S. L. Spassov // *Food Analytical Methods.* – 2010. – Vol. 3, no. 3. – P. 225–252.

497. Stirling-Roberts, A. Where to next? [Text] / A. Stirling-Roberts // *Packaging News*, Dec. edition, 1999. – P. 8–9.

498. Stone, H. Sensory evaluation: Science and mythology [Text] / H. Stone, J. Sidel // *Wine Research*. – 2005. – No. 8. – P. 47–56.

499. Tanaka, R. Improved medium for selective isolation and enumeration of *Bifidobacterium* [Text] / R. Tanaka, M. Mutai // *Appl. Environ. Mikrobiol.* – 1980. – Vol. 40. – P. 866–912.

500. Thayer, D. W. Effects of ionizing radiation treatments on the microbiological, nutritional and structural quality of meats [Text] / D. W. Thayer, J. B. Fox, L. Lakritz // *Food Flavor and Safety* / ed. by A. M. Spanier, H. Okai, M. Tamura. – Washington : American Chemical Society, 1993. – P. 294–302.

501. Thayer, D. W. Toxicology studies of irradiation-sterilized chicken [Text] / D. W. Thayer, J. P. Christopher, L. A. Campbell et al. // *Journal of Food Protection*. – 1987. – Vol. 50, no. 4. – P. 278–288.

502. The State of Food Insecurity in the World [Electronic resource] / FAO. – URL : <http://www.fao.org/docrep/003/Y1500E/y1500e00.HTM> (accessed: 27.01.2017).

503. Tikhonov, S. Practical aspects of leadership in neo-industrialization: Quality and storage of meat products [Text] / S. Tikhonov, M. Lukinih, R. Timakova // *Sustainable Leadership for Entrepreneurs and Academics: Springer Proceedings in Business and Economics* / ed. by W. Strielkowski. – Springer, 2019. – P. 463–470.

504. Tikhonov, S. L. Use of bar processing to increase the shelf life of vitaminized sausages and their use for the correction of students [Text] / S. L. Tikhonov, N. V. Tikhonova, E. V. Samokhvalova, V. M. Poznyakovskiy, A. Yu. Volkov, A. V. Aleksandrov, A. E. Terent'ev, V. A. Lazarev // *Foods and Raw Materials*. – 2016. – Vol. 4, no. 2. – P. 121–127.

505. Timakova, R. Determining the dose of radiation and radurisation effects on the antioxidant activity of fish and the thermophysical characteristics of fish muscle tissue [Electronic resource] / R. Timakova, S. Tikhonov, N. Tikhonova, S. Shikhalev // *Foods-Seafood Safety, Quality and Processing*. – 2019. – Vol. 8, № 4. – Art. 130. – URL : <https://doi.org/10.3390/foods8040130> (accessed: 01.02.2020).

506. Timakova, R. T. Effect of various doses of ionizing radiation on the safety of meat semi-finished products [Text] / R. T. Timakova, S. L. Tikhonov, N. V. Tikhonova, I. F. Gorlov // *Foods and Raw Materials*. – 2018. – Vol. 6, no. 1. – P. 120–127.

507. Timakova, R. T. Ionizing evolving impact on the foodstuff safety indicator [Text] / R. T. Timakova, S. L. Tikhonov, A. A. Muratov // *Индустрия питания / Food industry*. – 2017. – № 2(3). – С. 64–69.

508. Timakova, R. T. Ionizing irradiation of chilled meat raw materials as the world's leading technology [Text] / R. T. Timakova, S. L. Tikhonov, N. V. Tikhonova // *Leadership for the Future Sustainable Development of Business and Education. Springer Proceedings in Business and Economics* / ed. by W. Strielkowski, O. Chigishева. – Springer, 2018. – P. 643–651.

509. Timakova, R. T. Ionizing radiation treatment as an innovative process approach in food storage technology for modern agriculture [Text] / R. T. Timakova, S. L. Tikhonov, N. V. Tikhonova // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. – 2020. – Vol. 421, iss. 2. – Art. 22015.

510. Timakova, R. T. The influence of ionizing radiation on the thermophysical properties of meat from the broiler chickens with different stress resistance [Text] / R. T. Timakova, S. L. Tikhonov, N. V. Tikhonova, S. V. Shikhalev, L. S. Kudryashov // *Теория и практика переработки мяса*. – 2019. – Т. 4, № 1. – С. 4–8.

511. 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 [Text] / R. T. Timakova, S. L. Tikhonov, N. V. Tikhonova, V. M. Poznyakovskiy // *Foods and Raw Materials*. – 2017. – Vol. 5, no. 2. – P. 162–169.

512. Toldrá, F. The stability and shelf life of seafood [Text] / F. Toldrá, M. Reig // *Food and Beverage Stability and Shelf Life* / ed. by D. Kilcast, P. Subramaniam. – Elsevier Science, 2011. – P. 779–792.

513. Tompkin, R. B. The effect of iron on botulinal inhibition in perishable canned cured meat [Text] / R. B. Tompkin, L. N. Christiansen, A. B. Shaaris // *International Journal of Food Science and Technology*. – 2007. – Vol. 13, no. 6. – P. 521–527.

514. Uchida, M. Improvement for oxidative flavor stability of beer-role of OH radical in beer oxidation [Text] / M. Uchida, M. Ono // Journal of the American Society of Brewing Chemists. – 1996. – Vol. 54. – P. 198–204.

515. Uchida, M. Technological approach to improve beer flavor stability: Adjustments of wort aeration in modern fermentation systems using the electron spin resonance method [Text] / M. Uchida, M. Ono // Journal of the American Society of Brewing Chemists. – 2000. – Vol. 58. – P. 30–37.

516. Ukai, M. Electron spin resonance spectroscopy in food radiation research [Text] / M. Ukai // JEOL News. – 2004. – Vol. 39, no. 1. – P. 24–27.

517. USDA Database for the Oxygen Radical Absorbance Capacity (ORAC) of Selected Foods, Release 2 [Electronic resource]. – URL : https://www.orac-info-portal.de/download/ORAC_R2.pdf (accessed: 01.02.2018).

518. Uzunov, Y. Changes in the soluble muscle proteins and isoenzymes of lactate dehydrogenase in irradiated beef meat [Text] / Y. Uzunov et al. // International Journal of Radiation Biology. – 1972. – No. 22. – P. 437–442.

519. Van der Sluis, A. A. Activity and concentration of polyphenolic antioxidants in apple: effect of cultivar, harvest year, and storage conditions [Text] / A. A. van der Sluis, M. Dekker, A. de Jager, M. F. Jongen Wim // Journal of Agricultural and Food Chemistry. – 2001. – Vol. 49, no. 8. – P. 3606–3613.

520. Viana, E. S. Effect of modified atmospheres on microbiological, color and sensory properties of refrigerated pork [Text] / E. S. Viana, L. A. M. Gomide, M. C. D. Vanetti // Meat Science. – 2005. – Vol. 71, no. 4. – P. 696–705.

521. Vihavainen, E. J. Spoilage of value-added, high-oxygen modified-atmosphere packaged raw beefsteaks by *Leuconostoc gasicomitatum* and *Leuconostoc gelidum* [Text] / E. J. Vihavainen, K. J. Björkroth // Food Microbiology. – 2007. – Vol. 119. – P. 340–345.

522. Voluntary guidelines to support the progressive realization of the right to adequate food in the context of national food security: adopted by the 127th Session of the FAO Council [Electronic resource]. – Rome, 2004. – URL : <https://www.fao.org/docrep/009/y7937e/Y7937E00.HTM> (accessed: 31.01.2017).

523. Wall, R. Fatty acids from fish, The anti-inflammatory potential of long-chain omega-3 fatty acids / R. Wall, R. P. Ross, G. F. Fitzgerald, C. Stanton // Nutrition Reviews. – 2010. – Vol. 65. – P. 280–289.

524. Wang, C. Y. Changes of flavonoid content and antioxidant capacity in blueberries after illumination with UV-C [Text] / C. Y. Wang, C. T. Chen, S. Y. Wang // Food Chemistry. – 2009. – Vol. 117. – P. 426–431.

525. Wang, H. Total antioxidant capacity of fruits [Text] / H. Wang, G. Cao, R. L. Prior // Journal of Agricultural and Food Chemistry. – 1996. – Vol. 44. – P. 701–705.

526. Wang, Y. L. Tea polysaccharides as food antioxidants: An old woman's tale? [Text] / Y. L. Wang, Y. Zhao, K. Andrae-Marobela, H. Okatch, J. B. Xiao // Food Chemistry. – 2013. – Vol. 138, no. 2–3. – P. 1923–1927.

527. Wayner, D. D. M. Quantitative measurement of the total, peroxy radical-trapping antioxidant capability of human blood plasma by controlled peroxidation: the important contribution made by human plasma proteins [Text] / D. D. M. Wayner, G. W. Burton, K. U. Ingold, L. R. C. Barclay, S. Locke // FEBS (Federation of European Biochemical Societies) Letters. – 1985. – Vol. 187. – P. 33–37.

528. Weber, H. Mikrobiologie der Lebensmittel. Fleisch und Fleisch Feinkost [Text] / H. Weber. – Behr's Verlag, 2004. – 782 s.

529. Wholesomeness of Irradiated Food. Report of a Joint FAO/IAEA/WHO Expert Committee. Tech. Report Ser. 659 [Text]. – Geneva : World Health Organization, 1981. – 36 p.

530. Wierbicki, E. Preservation of meats by sterilizing doses of ionizing radiation [Text] / E. Wierbicki, M. Simon, E. S. Josephson // Radiation Preservation of Foods. – Washington, DC : National Research Council; National Academy of Science, 1965. – P. 383–409.

531. Winston G. W. Pro-oxidant and antioxidant mechanism in aquatic organisms [Text] / G. W. Winston, R. T. Di Giulio // Aquatic Toxicology. – 1991. – Vol. 19. – P. 137–161].

532. Yang, G. C. Determination of hydroperoxides in edible oils by electron spin resonance, thiobarbituric acid assay and liquid chromatography-chemiluminescence techniques [Text] / G. C. Yang, W. Qiang, K. M. Morehouse, I. Rosenthal, Y. Ku, P. Yurawecz // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. – 1991. – Vol. 39. – P. 896–898.

533. Yong, H. I. Radiation sensitivity of foodborne pathogens in meat byproducts with different packaging [Text] / H. I. Yong, H. J. Kim, K. C. Nam, J. H. Kwon, C. Jo // *Radiation Physics and Chemistry*. – 2015. – Vol. 115. – P. 153–157.

534. Zakrys, P. I. Effects of oxygen concentration on sensory evaluation and quality indicators of beef muscle packed under modified atmosphere [Text] / P. I. Zakrys, S. A. Hocan // *Meat Science*. – 2008. – Vol. 79. – P. 648–655.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

ПАТЕНТ 2683506.

СПОСОБ ХРАНЕНИЯ ОХЛАЖДЕННОЙ РЫБЫ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2683506

Способ хранения охлажденной рыбы

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Уральский государственный экономический университет" (УрГЭУ) (RU)*

Авторы: *Тимакова Роза Темерьяновна (RU), Тихонов Сергей Леонидович (RU), Тихонова Наталья Валерьевна (RU), Ногина Анна Александровна (RU)*

Заявка № 2018110012

Приоритет изобретения 21 марта 2018 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре изобретений

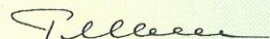
Российской Федерации 28 марта 2019 г.

Срок действия исключительного права

на изобретение истекает 21 марта 2038 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

 Г.П. Ивлиев

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

ПАТЕНТ 2683518.

СПОСОБ УВЕЛИЧЕНИЯ СРОКА ХРАНЕНИЯ ВАРЕННЫХ КОЛБАС

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2683518

Способ увеличения срока хранения вареных колбас

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Уральский государственный экономический университет" (УрГЭУ) (RU)*

Авторы: *Тимакова Роза Темерьяновна (RU), Тихонов Сергей Леонидович (RU), Тихонова Наталья Валерьевна (RU), Ногина Анна Александровна (RU)*

Заявка № 2018112395

Приоритет изобретения 05 апреля 2018 г.

Дата государственной регистрации в


Государственном реестре изобретений

Российской Федерации 28 марта 2019 г.

Срок действия исключительного права

на изобретение истекает 05 апреля 2038 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

 Г.П. Ивлиев

ПРИЛОЖЕНИЕ В

ТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ

ТУ 03.22.20-004-02069214-2017.

Охлажденная рыба, обработанная ионизирующим излучением

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭКОНОМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

ОКПД 2 03.22.20

Группа Н 24
(код ОКС 67.120.30)

УТВЕРЖДАЮ:



ВО «Уральский
экономический

Я.П. Силин

2017 г

Охлажденная рыба, обработанная ионизирующим излучением

Технические условия
ТУ 03.22.20-004-02069214-2017

Дата введения в действие – «22» сентября 2017 г

РАЗРАБОТЧИК:

Уральский государственный экономический
университет, кафедра «Пищевая инженерия»

д.т.н., доцент,
профессор кафедры
пищевой инженерии Н.В. Тихонова

к.с.-х.н., доцент,
доцент кафедры
туристического бизнеса
и гостеприимства Р.Т. Тимакова

аспирант А.С. Романова

ТУ 10.12.10-014-02069214-2018.
Охлажденное мясо кур (тушки кур, цыплят, цыплят-бройлеров),
обработанное ионизирующим излучением

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
"УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭКОНОМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ"

ОКПД 2 10.12.10

Группа Н 16
(код ОКС 67.120.20)

УТВЕРЖДАЮ:

Ректор
ФГБОУ ВО "Уральский
государственный экономический
университет"



Я.П. Силин
2018г.

Охлажденное мясо кур (тушки кур, цыплят, цыплят-
бройлеров), обработанное ионизирующим излучением

Технические условия
ТУ 10.12.10-014-02069214-2018

Дата введения в действие 26 "сентября" 2018г.

РАЗРАБОТЧИК:
Уральский государственный экономический
университет, кафедра "Пищевая инженерия"

д.т.н., доцент
профессор кафедры
пищевой инженерии Н.В.Тихонова

к. с.-х.н.,
доцент кафедры
туристического бизнеса
и гостеприимства Р.Т.Тимаков

Екатеринбург, 2018

ТУ 10.84.22-012-02069214-2019.

Чили жгучий молотый, обработанный ионизирующим излучением

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
"УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭКОНОМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ"

ОКПД 2 10.84.22

Группа Н 55
(код ОКС 67.220.10)

УТВЕРЖДАЮ:
Ректор
ФГБОУ ВО «Уральский
государственный экономический
университет»



Я.П. Силиз
«15» марта 2019г.

**Чили жгучий молотый, обработанный ионизирующим
излучением**

**Технические условия
ТУ 10.84.22-012-02069214-2019**

Дата введения в действие «15» марта 2019г.

РАЗРАБОТЧИК:
Уральский государственный экономический
университет, кафедра "Пищевая инженерия"

к. с.-х.н.,
доцент кафедры
пищевой инженерии



Р.Т.Тимакова

Екатеринбург, 2019

ТУ 10.84.23-015-02069214-2019.

Перец белый молотый, обработанный ионизирующим излучением

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
"УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭКОНОМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ"

ОКПД 2 10.84.23

Группа Н 55
(код ОКС 67.220.10)

УТВЕРЖДАЮ:

Ректор
ФГБОУ ВО "Уральский
государственный экономический
университет"



Я.П. Силин
15.08.2019г.

**Перец белый молотый, обработанный ионизирующим
излучением**

**Технические условия
ТУ 10.84.23-015-02069214-2019**

Дата введения в действие "15" август 2019г.

РАЗРАБОТЧИК:
Уральский государственный экономический
университет, кафедра "Пищевая инженерия"

к. с.-х.н.,
доцент кафедры
пищевой инженерии



Р.Т.Тимакова

Екатеринбург, 2019

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

СПРАВКИ МТК 534. ПРОЕКТЫ ГОСТ

Справка МТК 534. Проект ГОСТ.

Мясо и мясные продукты. Метод электронного парамагнитного резонанса для выявления радиационно-обработанного мяса, содержащего костную ткань. Определение поглощенных доз

ГОССТАНДАРТ

М. ДУЛАТОВ АТЫНДАҒЫ
КОСТАНАЙ ИНЖЕНЕРЛІК-ЭКОНОМИКАЛЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ
«НАССР ПРИНЦИПТЕРІ НЕГІЗІНДЕ АУЫЛ ШАРУАШЫЛЫҚ ЖӘНЕ АЗЫҚ-ТҮЛІК
ШИКЗАТЫНЫҢ ҚАУІПСІЗДІГІН ҚАМТАМАСЫЗ ЕТУ» 534 МЕМЛЕКЕТ АРАЛЫҚ
ТЕХНИКАЛЫҚ КОМИТЕТ

КОСТАНАЙСКИЙ
ИНЖЕНЕРНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ М. ДУЛАТОВА
МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ КОМИТЕТ 534
«ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ И
ПРОДОВОЛЬСТВЕННОГО СЫРЬЯ НА ОСНОВЕ ПРИНЦИПОВ НАССР»

110000, Костанай к., Чернышевский кош., 59 үй
Тел/факс: 8 (7142) 281-595, E-mail: muratov@kineu.kz;

110000 г. Костанай, Чернышевского, 59
tk44_technologist@mail.ru

№ 04
«16» 08 2018 г.

Председателю диссертационного
совета Д 212.287.02. при ФГБОУ ВО
«Уральский государственный
экономический университет»
д.т.н., проф. Чугуновой О.В.

СПРАВКА

Выдана Тимаковой Розе Темерьяновне в том, что результаты исследований ее диссертационной работы на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.18.15 использованы при разработке проекта ГОСТА «Мясо и мясные продукты. Метод электронного парамагнитного резонанса для выявления радиационно-обработанного мяса, содержащего костную ткань. Определение поглощенных доз».

Председатель
Межгосударственного технического комитета
по стандартизации МТК-534



А. Муратов

Справка МТК 534. Проект ГОСТ.
 Мясо и мясные продукты. Метод электронного парамагнитного резонанса
 для выявления радиационно-обработанного бескостного мяса.
 Определение поглощенных доз

ГОССТАНДАРТ

М. ДУЛАТОВ АТЫНДАҒЫ
 ҚОСТАНАЙ ИНЖЕНЕРЛІК-ЭКОНОМИКАЛЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ
 «НАССР ПРИНЦИПТЕРІ НЕГІЗІНДЕ АУЫЛ ШАРУАШЫЛЫҚ ЖӘНЕ АЗЫҚ-ТҮЛІК
 ШИКІЗАТЫНЫҢ ҚАУІПСІЗДІГІН ҚАМТАМАСЫЗ ЕТУ» 534 МЕМЛЕКЕТ АРАЛЫҚ
 ТЕХНИКАЛЫҚ КОМИТЕТ

КОСТАНАЙСКИЙ
 ИНЖЕНЕРНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ М. ДУЛАТОВА
 МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ КОМИТЕТ 534
 «ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ И
 ПРОДОВОЛЬСТВЕННОГО СЫРЬЯ НА ОСНОВЕ ПРИНЦИПОВ НАССР»

110000, Қостанай қ., Чернышевский кош., 59 үй

110000 г. Костанай, Чернышевского, 59

Тел/факс: 8 (7142) 281-595, E-mail: muratov@kineu.kz; tk44_technologist@mail.ru

№ 05
 «16» 08 2018 г.

Председателю диссертационного
 совета Д 212.287.02. при ФГБОУ ВО
 «Уральский государственный
 экономический университет»
 д.т.н., проф. Чугуновой О.В.

СПРАВКА

Выдана Тимаковой Розе Темерьяновне в том, что результаты исследований ее диссертационной работы на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.18.15 использованы при разработке проекта ГОСТА «Мясо и мясные продукты. Метод электронного парамагнитного резонанса для выявления радиационно-обработанного бескостного мяса. Определение поглощенных доз».

Председатель
 Межгосударственного технического комитета
 по стандартизации МТК-534



А. Муратов

Исп. Го Тин Шин А.Н.
 +7 -7142- 281-595
 e-mail: tk44_technologist@mail.ru

Справка МТК 534. Проект ГОСТ.
 Рыба и рыбопродукты. Метод электронного парамагнитного резонанса
 для выявления радиационно-обработанной рыбы, содержащей костную ткань и чешую.
 Определение поглощенных доз

ГОССТАНДАРТ

М. ДУЛАТОВ АТЫНДАҒЫ
 КОСТАНАЙ ИНЖЕНЕРЛІК-ЭКОНОМИКАЛЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ
 «НАССР ПРИНЦИПТЕРІ НЕГІЗІНДЕ АУЫЛ ШАРУАШЫЛЫҚ ЖӘНЕ АЗЫҚ-ТҮЛІК
 ШИКІЗАТЫНЫҢ ҚАУІПСІЗДІГІН ҚАМТАМАСЫЗ ЕТУ» 534 МЕМЛЕКЕТ АРАЛЫҚ
 ТЕХНИКАЛЫҚ КОМИТЕТ

КОСТАНАЙСКИЙ
 ИНЖЕНЕРНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ М. ДУЛАТОВА
 МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ КОМИТЕТ 534
 «ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ И
 ПРОДОВОЛЬСТВЕННОГО СЫРЬЯ НА ОСНОВЕ ПРИНЦИПОВ НАССР»

110000, Костанай к., Чернышевский конл., 59 үй
 Тел/факс: 8 (7142) 281-595, E-mail: muratov@kineu.kz; tk44_technologist@mail.ru

110000 г. Костанай, Чернышевского, 59

№ 08
 «16» 08 2018 г.

Председателю диссертационного
 совета Д 212.287.02. при ФГБОУ ВО
 «Уральский государственный
 экономический университет»
 д.т.н., проф. Чугуновой О.В.

СПРАВКА

Выдана Тимаковой Розе Темерьяновне в том, что результаты исследований ее диссертационной работы на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.18.15 использованы при разработке проекта ГОСТА «Рыба и рыбопродукты. Метод электронного парамагнитного резонанса для выявления радиационно-обработанной рыбы, содержащей костную ткань и чешую. Определение поглощенных доз».

Председатель
 Межгосударственного технического комитета
 по стандартизации МТК-534



А. Муратов

Исп. Го Тин Шин А.Н.
 +7-7142-281-595
 e-mail: tk44_technologist@mail.ru

Справка МТК 534. Проект ГОСТ.
 Рыба и рыбопродукты. Метод электронного парамагнитного резонанса
 для выявления радиационно-обработанной рыбы по мышечной ткани.
 Определение поглощенных доз

ГОССТАНДАРТ

М. ДУЛАТОВ АТЫНДАҒЫ
 ҚОСТАНАЙ ИНЖЕНЕРЛІК-ЭКОНОМИКАЛЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ
 «НАССР ПРИНЦИПТЕРІ НЕГІЗІНДЕ АУЫЛ ШАРУАШЫЛЫҚ ЖӘНЕ АЗЫҚ-ТҮЛІК
 ШИКІЗАТЫНЫҢ ҚАУІПСІЗДІГІН ҚАМТАМАСЫЗ ЕТУ» 534 МЕМЛЕКЕТ АРАЛЫҚ
 ТЕХНИКАЛЫҚ КОМИТЕТ

КОСТАНАЙСКИЙ
 ИНЖЕНЕРНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ М. ДУЛАТОВА
 МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ КОМИТЕТ 534
 «ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ И
 ПРОДОВОЛЬСТВЕННОГО СЫРЬЯ НА ОСНОВЕ ПРИНЦИПОВ НАССР»

110000, Костанай к., Чернышевский көш., 59 үй
 Тел/факс: 8 (7142) 281-595, E-mail: muratov@kineu.kz;

110000 г. Костанай, Чернышевского, 59
 tk44_technologist@mail.ru

№ 09
 «16» 08 2018 г.

Председателю диссертационного
 совета Д 212.287.02. при ФГБОУ ВО
 «Уральский государственный
 экономический университет»
 д.т.н., проф. Чугуновой О.В.

СПРАВКА

Выдана Тимаковой Розе Темерьяновне в том, что результаты исследований ее диссертационной работы на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.18.15 использованы при разработке проекта ГОСТА «Рыба и рыбопродукты. Метод электронного парамагнитного резонанса для выявления радиационно-обработанной рыбы по мышечной ткани. Определение поглощенных доз».

Председатель
 Межгосударственного технического комитета
 по стандартизации МТК-534



А. Муратов

Исп. Го Тин Шин А.Н.
 +7 -7142- 281-595
 e-mail: tk44_technologist@mail.ru

Справка МТК 534. Проект ГОСТ.
Пряности. Метод электронного парамагнитного резонанса
для выявления радиационно-обработанных пряностей.
Определение поглощенных доз

ГОССТАНДАРТ

М. ДУЛАТОВ АТЫНДАҒЫ
КОСТАНАЙ ИНЖЕНЕРЛІК-ЭКОНОМИКАЛЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ
«НАССР ПРИНЦИПТЕРІ НЕГІЗІНДЕ АУЫЛ ШАРУАШЫЛЫҚ ЖӘНЕ АЗЫҚ-ТҮЛІК
ШИКІЗАТЫНЫҢ ҚАУІПСІЗДІГІН ҚАМТАМАСЫЗ ЕТУ» 534 МЕМЛЕКЕТ АРАЛЫҚ
ТЕХНИКАЛЫҚ КОМИТЕТ

КОСТАНАЙСКИЙ
ИНЖЕНЕРНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ М. ДУЛАТОВА
МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ КОМИТЕТ 534
«ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ И
ПРОДОВОЛЬСТВЕННОГО СЫРЬЯ НА ОСНОВЕ ПРИНЦИПОВ НАССР»

110000, Костанай к., Чернышевский көш., 59 үй
Тел/факс: 8 (7142) 281-595, E-mail: muratov@kineu.kz; tk44_technologist@mail.ru

110000 г. Костанай, Чернышевского, 59

№ 07
«16» 08 2018 г.

Председателю диссертационного
совета Д 212.287.02. при ФГБОУ ВО
«Уральский государственный
экономический университет»
д.т.н., проф. Чугуновой О.В.

СПРАВКА

Выдана Тимаковой Розе Темерьяновне в том, что результаты исследований ее диссертационной работы на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.18.15 использованы при разработке проекта ГОСТА «Пряности. Метод электронного парамагнитного резонанса для выявления радиационно-обработанных пряностей. Определение поглощенных доз».

Председатель
Межгосударственного технического комитета
по стандартизации МТК-534



А. Муратов

Исп. Го Тин Шин А.Н.
+7 -7142- 281-595
e-mail: tk44_technologist@mail.ru

Справка МТК 534. Проект ГОСТ.
 Плоды и ягоды свежие и переработанные. Метод электронного парамагнитного резонанса
 для выявления радиационно-обработанных плодов.
 Определение поглощенных доз

ГОССТАНДАРТ

М. ДУЛАТОВ АТЫНДАҒЫ
 ҚОСТАНАЙ ИНЖЕНЕРЛІК-ЭКОНОМИКАЛЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ
 «НАССР ПРИНЦИПТЕРІ НЕГІЗІНДЕ АУЫЛ ШАРУАШЫЛЫҚ ЖӘНЕ АЗЫҚ-ТҮЛІК
 ШИКЗАТЫНЫҢ ҚАУІПСІЗДІГІН ҚАМТАМАСЫЗ ЕТУ» 534 МЕМЛЕКЕТ АРАЛЫҚ
 ТЕХНИКАЛЫҚ КОМИТЕТ

КОСТАНАЙСКИЙ
 ИНЖЕНЕРНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ М. ДУЛАТОВА
 МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ КОМИТЕТ 534
 «ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ И
 ПРОДОВОЛЬСТВЕННОГО СЫРЬЯ НА ОСНОВЕ ПРИНЦИПОВ НАССР»

110000, Костанай к., Чернышевский кош., 59 үй
 Тел/факс: 8 (7142) 281-595, E-mail: muratov@kineu.kz; tk44_technologist@mail.ru

110000 г. Костанай, Чернышевского, 59

№ 06
 «16» 08 2018 г.

Председателю диссертационного
 совета Д 212.287.02. при ФГБОУ ВО
 «Уральский государственный
 экономический университет»
 д.т.н., проф. Чугуновой О.В.

СПРАВКА

Выдана Тимаковой Розе Темерьяновне в том, что результаты исследований ее диссертационной работы на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.18.15 использованы при разработке проекта ГОСТА «Плоды и ягоды свежие и переработанные. Метод электронного парамагнитного резонанса для выявления радиационно-обработанных плодов и ягод. Определение поглощенных доз».

Председатель
 Межгосударственного технического комитета
 по стандартизации МТК-534



А. Муратов

Исп. Го Тим Шин А.Н.
 +7-7142-281-595
 e-mail: tk44_technologist@mail.ru

ОБОРУДОВАНИЕ, ПРИМЕНЯЕМОЕ В ХОДЕ ЭКСПЕРИМЕНТА



Рисунок Д.1 – Излучатель ускорителя УЭЛР-10-10С2

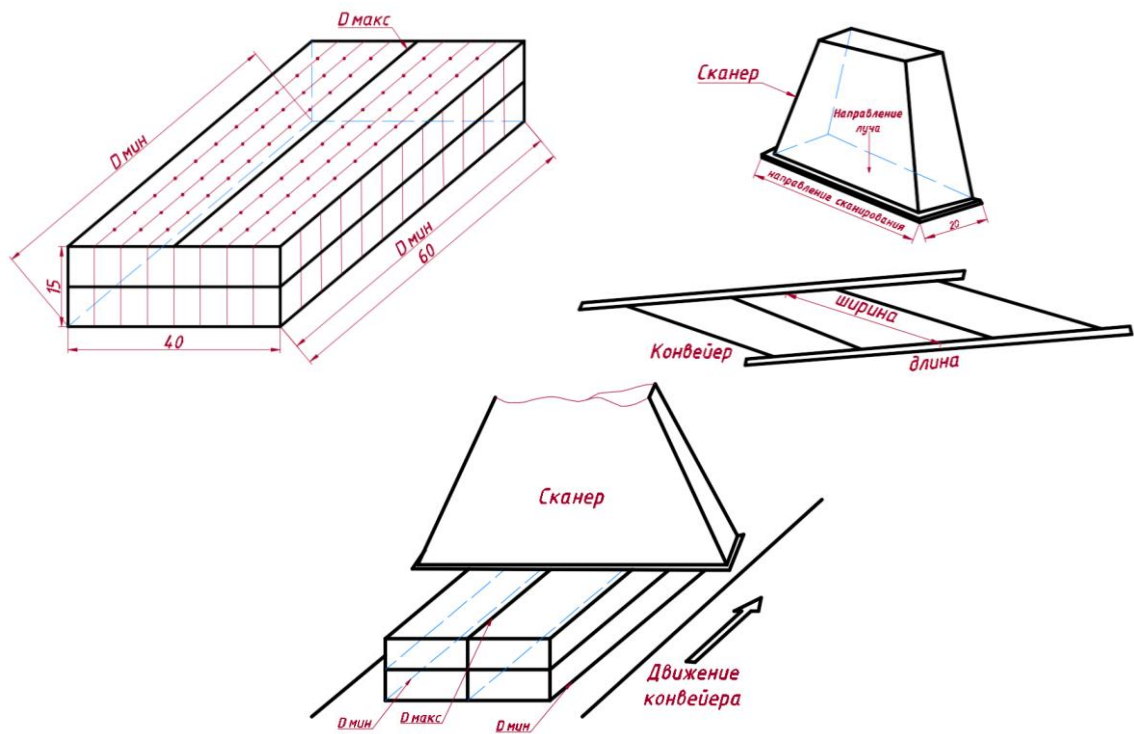


Рисунок Д.2 – Параметры технологической загрузки и схема одностороннего облучения технологической загрузки электронным пучком



Рисунок Д.3 – Внешний вид спектрометра ЭПР

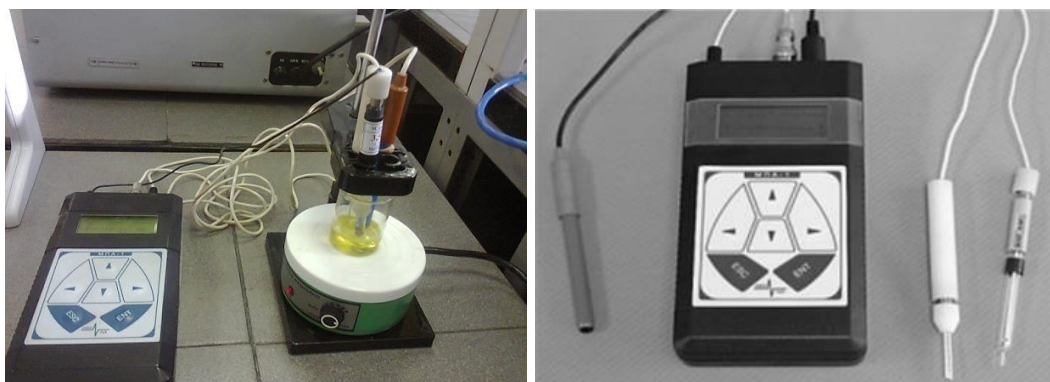


Рисунок Д.4 – Внешний вид многофункционального потенциметрического анализатора МПА-1 (в комплекте с термодатчиком и электродами) и электрохимической ячейки

Исследование теплофизических свойств. Экспериментальные исследования проводили на опытной установке (рисунок Д.4), состоящей из α -калориметра 7 в виде шарообразной медной оболочки с исследуемым фаршем из мясного или рыбного сырья, термостата 1 с крышкой 2, перемешивающего устройства с приводом 6, хромель-копелевых термопар 3 для определения температуры в образцах и охлаждаемых (водной/воздушной) средах, потенциометра 4 класса точности 0,25 с термостатированием свободных концов термопар и контрольной термопары.

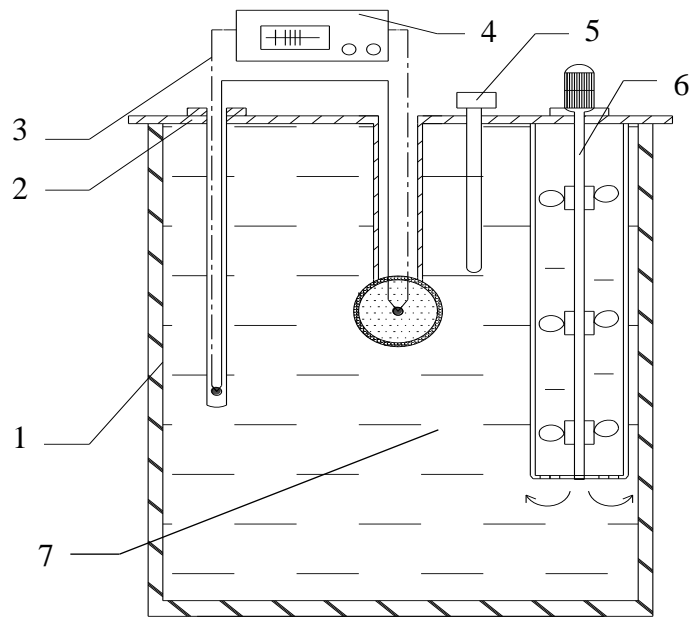


Рисунок Д.5 – Стендовая схема опытной установки для определения коэффициента температуропроводности фарша:
 1 – термостат; 2 – крышка; 3 – дифференциальная термопара;
 4 – потенциометр; 5 – термометр; 6 – мешалка; 7 – калориметр

На рисунке Д.6 представлено схематичное изображение сферического калориметра, используемого в опытной установке.

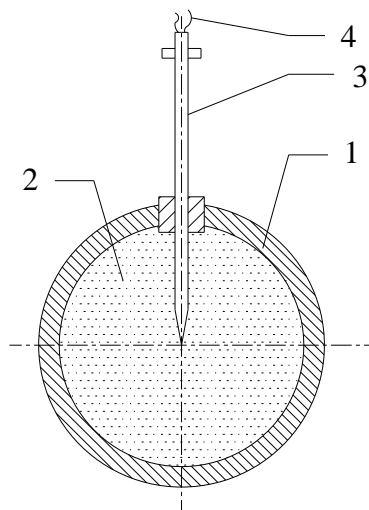


Рисунок Д.6 – Сферический калориметр:
 1 – оболочка калориметра; 2 – исследуемый продукт; 3 – трубка защитная; 4 – термопара

После прогрева и термостатирования калориметра проводили охлаждение шара в жидкостном термостате при интенсивном перемешивании, т. е. создавали условия, при которых коэффициент температуропроводности от поверхности калориметра к охлаждаемой среде имел большие значения, $\bar{\alpha} \rightarrow \infty$ [175]. В этом случае коэффициент температуропроводности можно определить из трансцендентного уравнения для шара:

$$a = m_{\infty} \left(\frac{R}{\pi} \right)^2, \quad (\text{Д.1})$$

где R – радиус калориметра (медного шара); m_{∞} – темп охлаждения.

Коэффициент теплопроводности определяли из трансцендентного уравнения для шара:

$$\lambda = \frac{\bar{\alpha} \times R}{1 - R \times \sqrt{\frac{m}{a}} \times \text{ctg} \left(R \sqrt{\frac{m}{a}} \right)}, \quad (\text{Д.3})$$

где m – темп охлаждения при этих условиях, определяемый вышеуказанным способом; $\bar{\alpha}$ – коэффициент температуропроводности, определяемый на эталонном калориметре методом сравнения с образцом с известным коэффициентом теплопроводности.

Для определения удельной теплоемкости использовали метод сравнительного охлаждения контрольных и опытных образцов и геометрически подобного эталона путем снятия кривых охлаждения во времени. При этом использовали уравнение:

$$c_{\tau} \frac{\partial t_{\text{м}}}{\partial \tau} = c_{\text{э}} \frac{\partial t_{\text{э}}}{\partial \tau}, \quad (\text{Д.4})$$

где $c_M, c_Э$ – теплоемкости образца и эталона (мука); $t_M, t_Э$ – температуры образца и эталона.

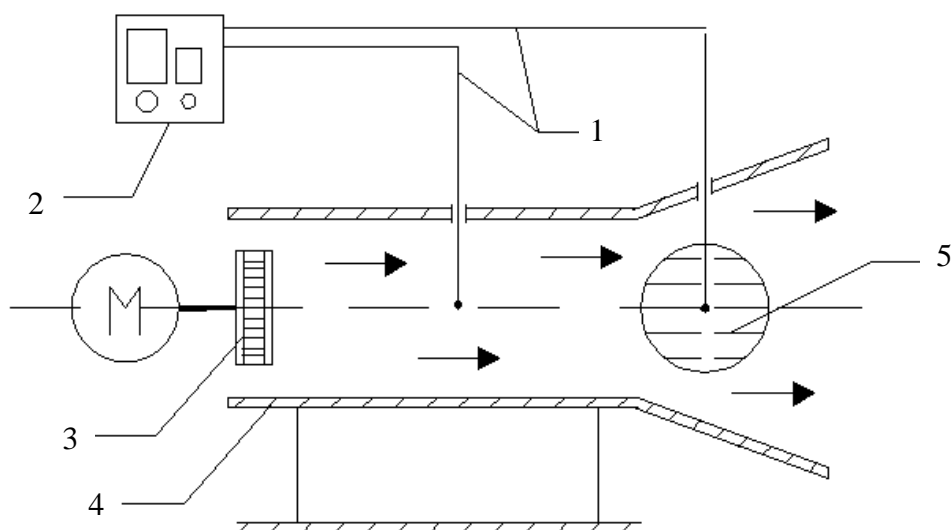


Рисунок Д.7 – Стенд для определения коэффициента теплопроводности:
 1 – хромелькопелевые термопары; 2 – потенциометр; 3 – вентилятор;
 4 –воздушный термостат; 5 – λ -калориметр

Определение коэффициента теплопроводности образцов мясного или рыбного фарша, обработанных разными дозами, проводили на экспериментальном стенде, представленном на рисунке Д.7 и состоящем из λ -калориметра 5 в виде шарообразной медной оболочки с исследуемым веществом (фарш), воздушный термостат 4 с вентилятором 3, хромель-копелевых термопар 1 и потенциометра 2 класса точности 0,25 с термостатированием свободных концов термопар.

ЭПР-СПЕКТРОСКОПИЯ ПИЩЕВОЙ ПРОДУКЦИИ

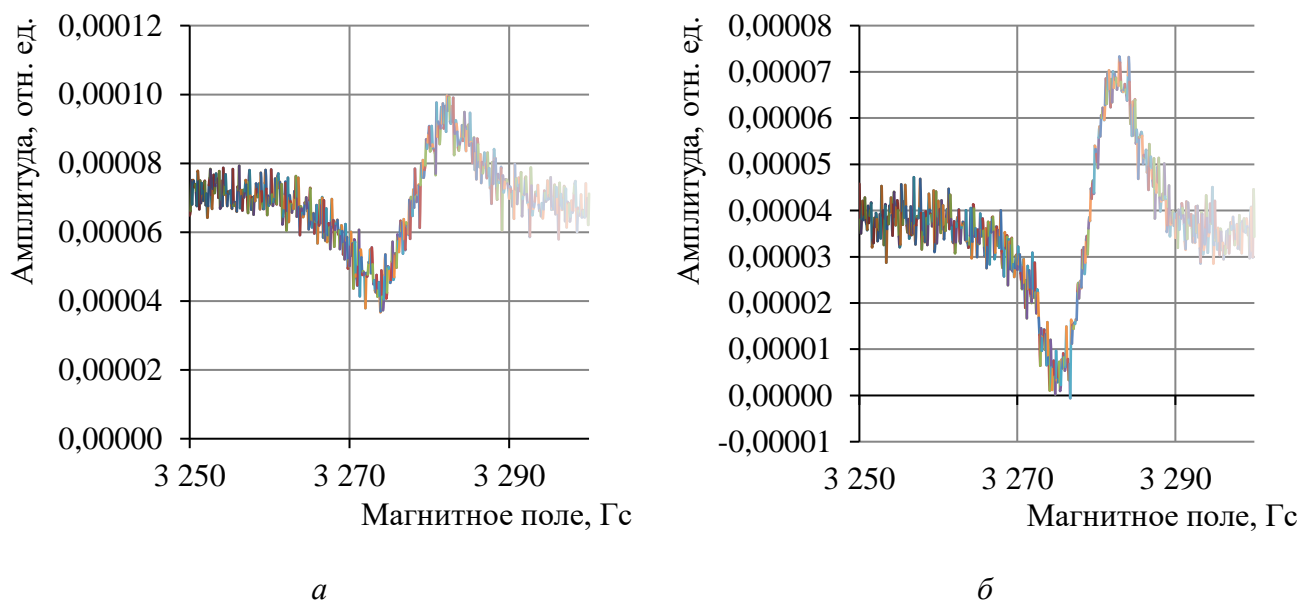


Рисунок Е.1 – Спектр ОКТ (*a*) и ОКЧ (*б*) форели импортного производства (g -фактор $2,0049 \pm 0,0003$ и $2,0045 \pm 0,0001$ соответственно)

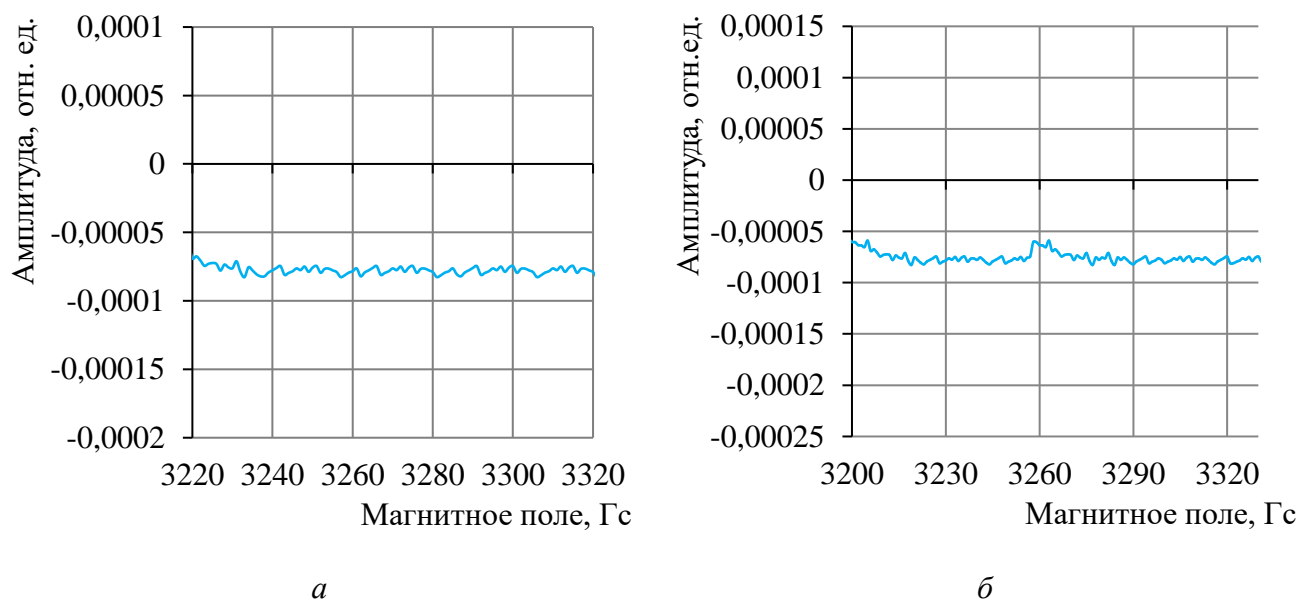


Рисунок Е.2 – Спектр образцов перца белого молотого (*a*) и куркумы молотой (*б*) до обработки ионизирующим излучением

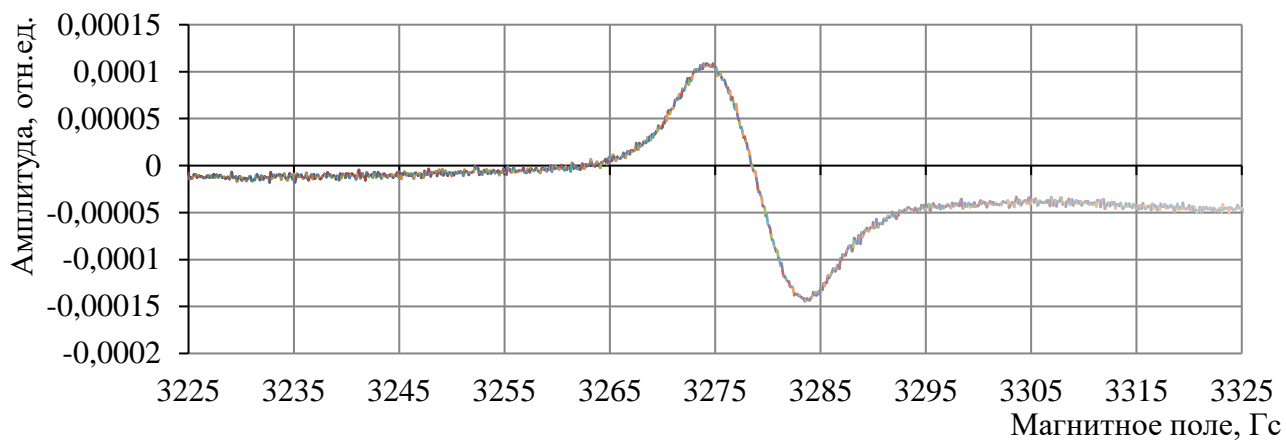


Рисунок Е.3 – Спектры образцов перца черного молотого, обработанных дозой до 10 кГр (g -фактор $2,0040 \pm 0,0002$)

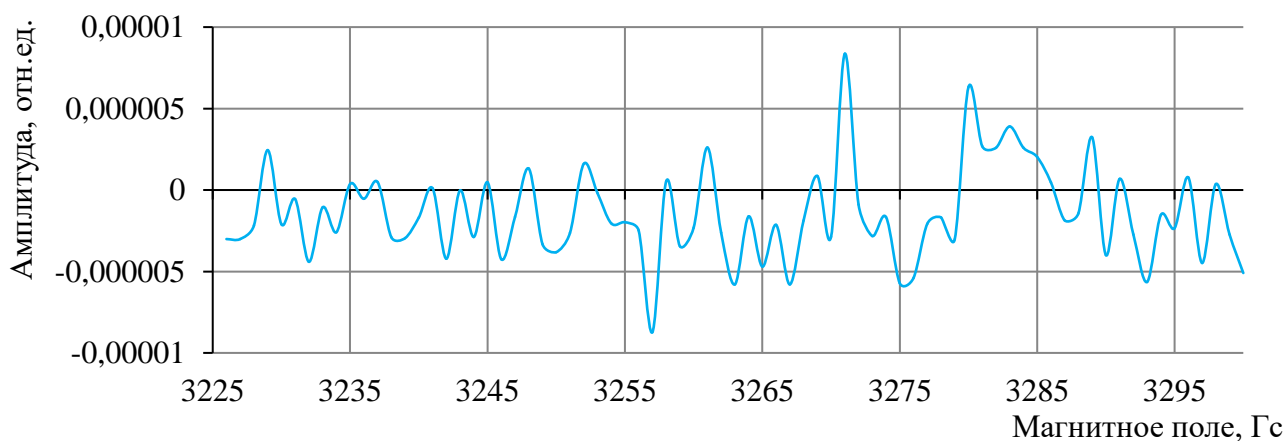


Рисунок Е.4 – Спектр образца чили жгучего молотого, обработанного дозой до 3 кГр

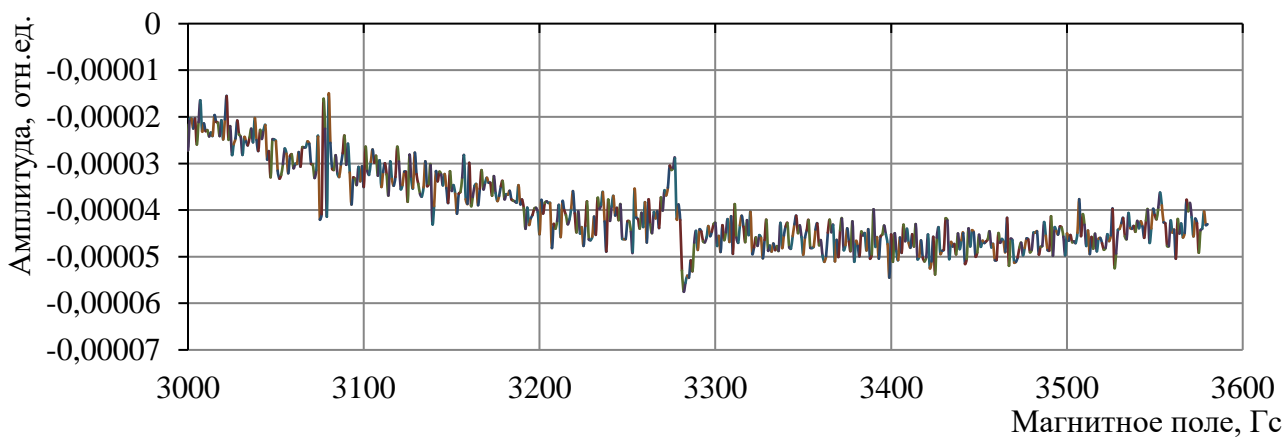


Рисунок Е.5 – Спектры образцов чили острого молотого, обработанных дозой до 4 кГр (g -фактор $2,0043 \pm 0,0002$)

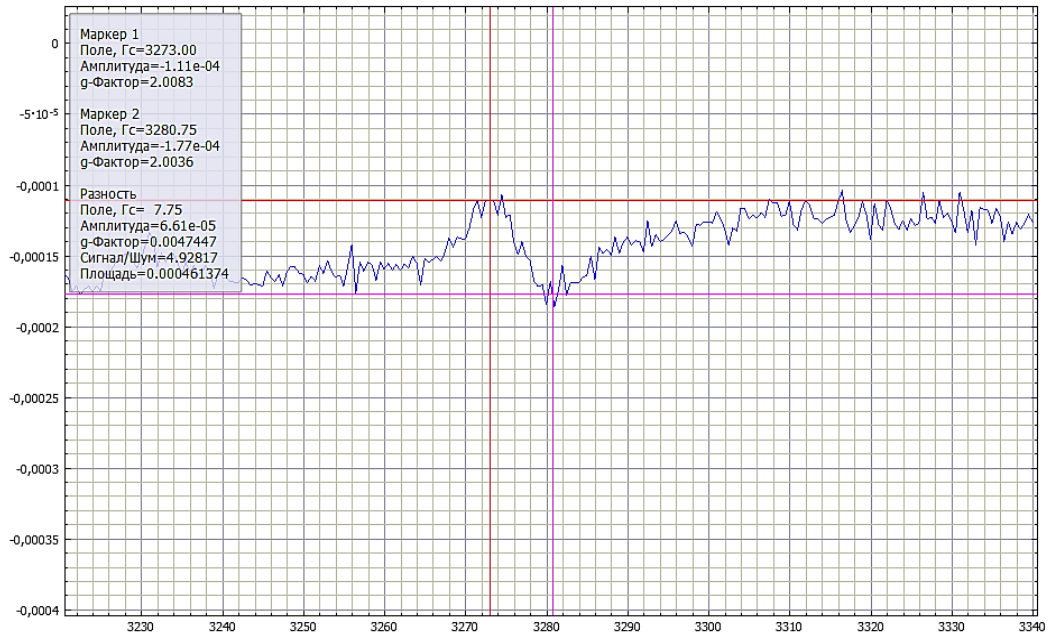


Рисунок Е.6 – Спектр образца семян земляники сушеной, ранее обработанного дозой до 3 кГр (g -фактор $2,0041 \pm 0,0003$)

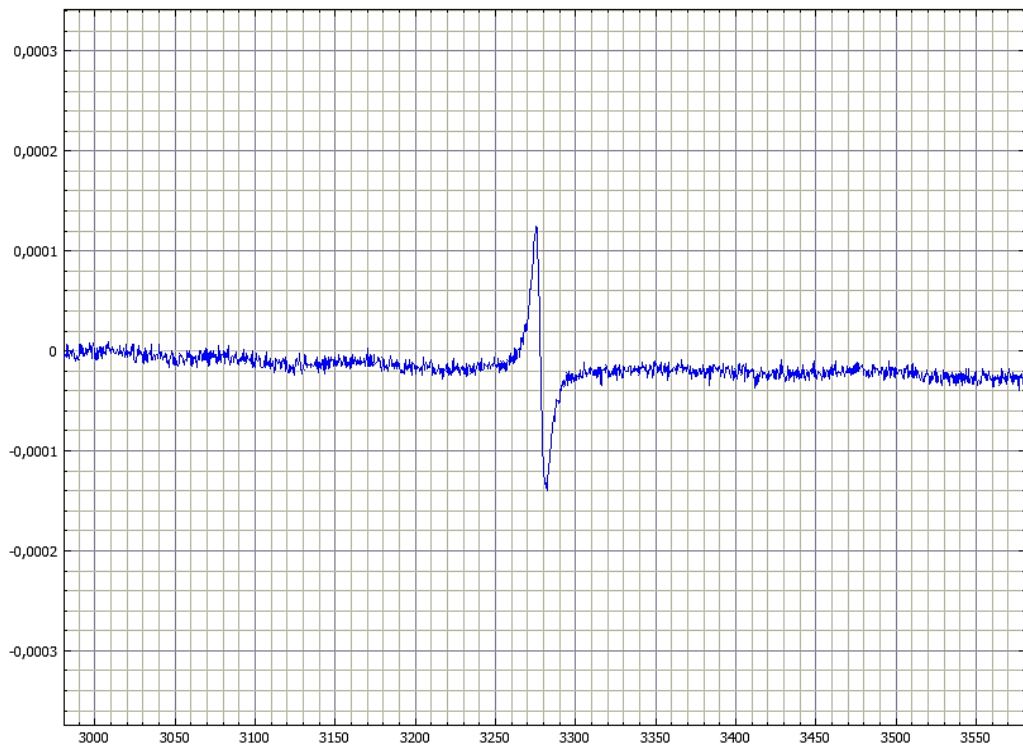


Рисунок Е.7 – Спектр образца банана красного, ранее обработанного дозой до 10 кГр (g -фактор $2,0048 \pm 0,0002$)

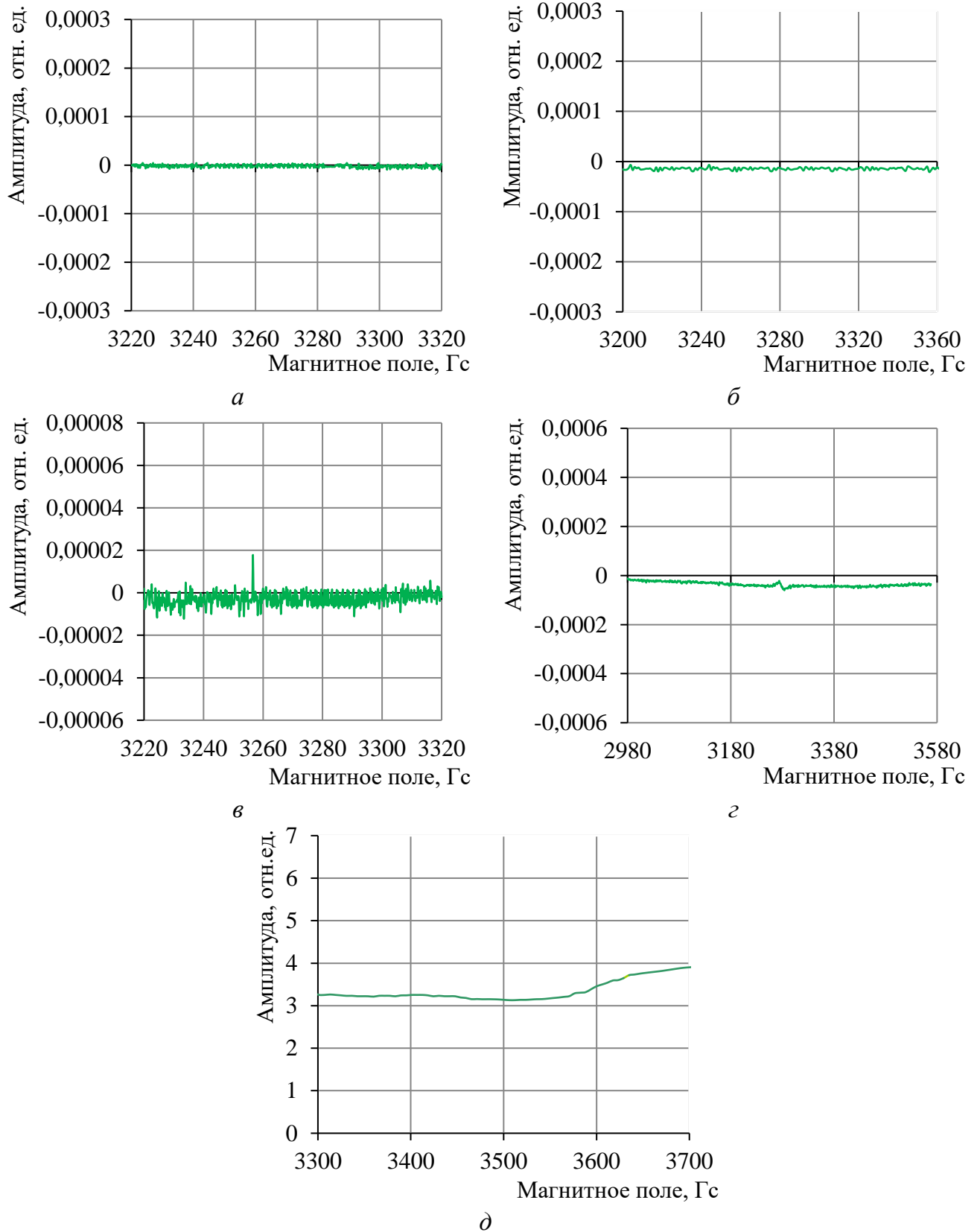


Рисунок Е.8 – Спектры ОКТ говядины (а), свинины (б), мяса птицы (в), мяса косули (г), шейки свиной, упакованной с применением МГС (д) до обработки ионизирующим излучением

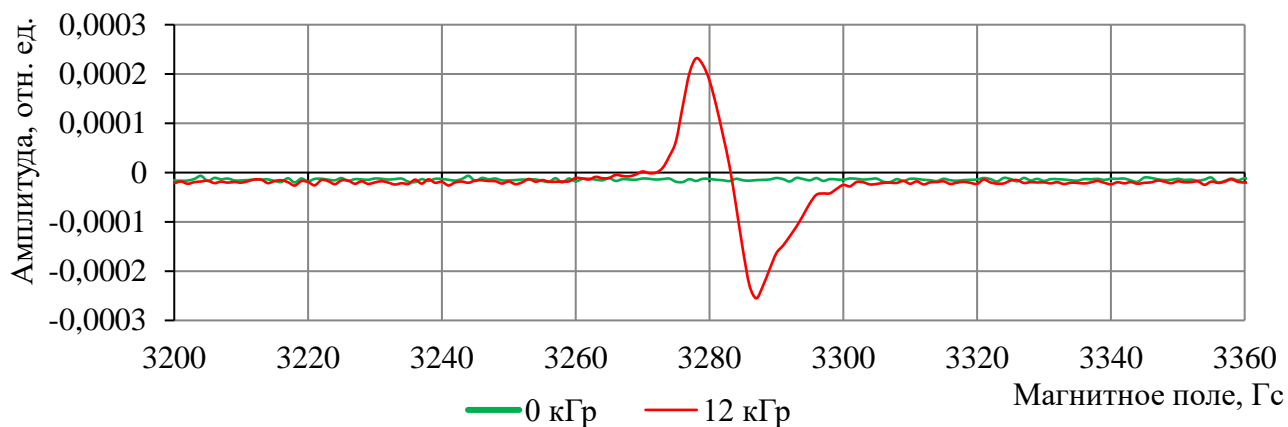


Рисунок Е.9 – Спектры ОКТ свинины до и после обработки дозой 12 кГр

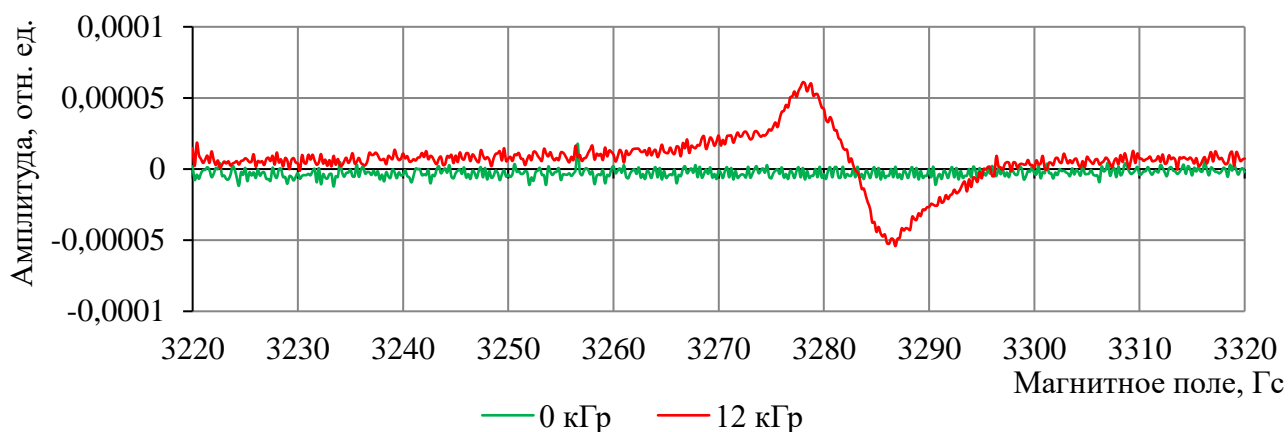


Рисунок Е.10 – Спектры ОКТ мяса птицы до и после обработки дозой 12 кГр

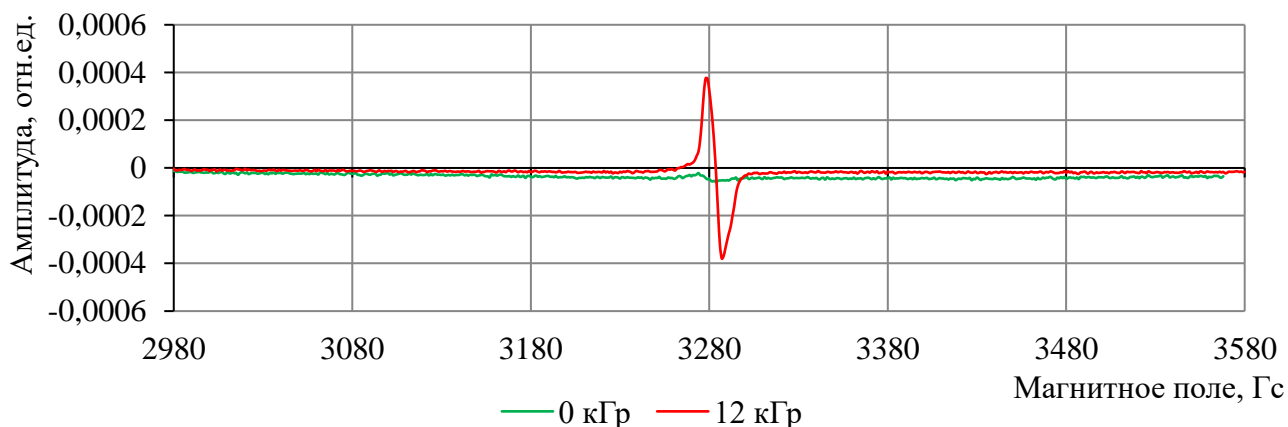


Рисунок Е.11 – Спектры ОКТ мяса косули до и после обработки дозой 12 кГр

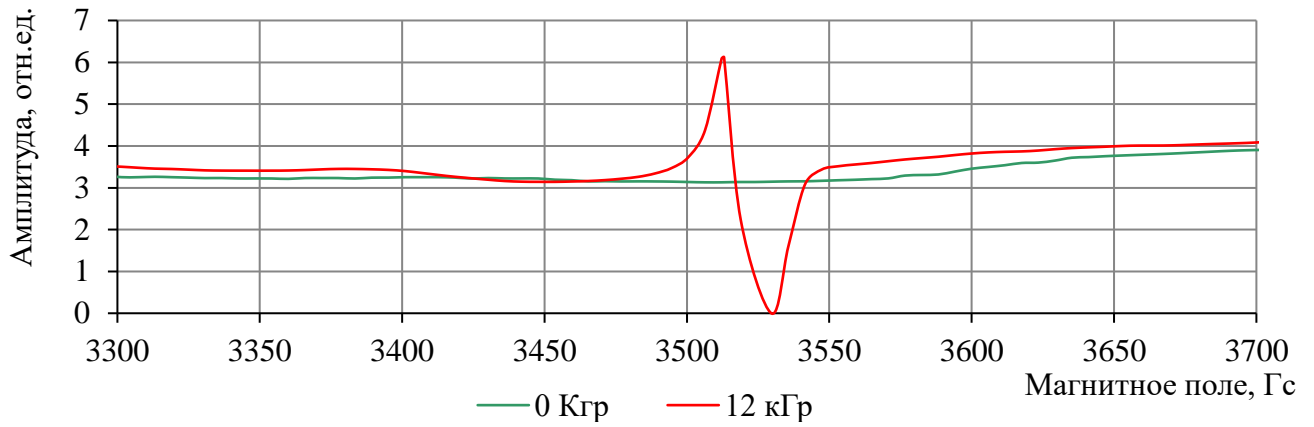


Рисунок Е.12 – Спектры ОКТ шейки свиной, упакованной с применением МГС, до и после обработки дозой 12 кГр

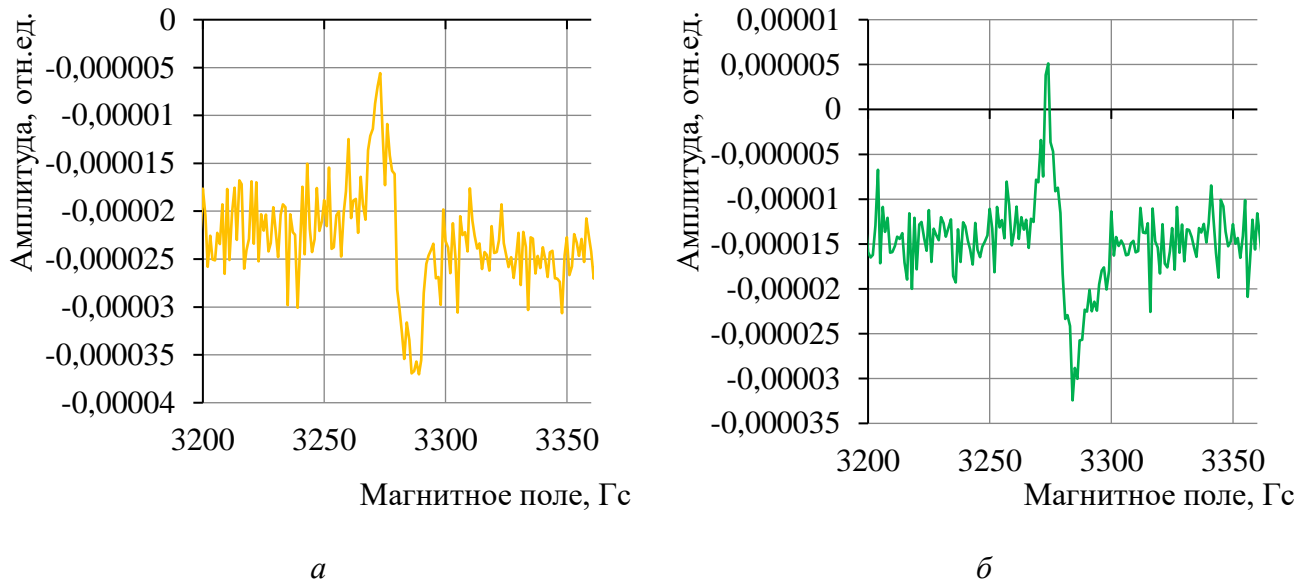


Рисунок Е.13 – Спектры ОКТ свинины, обработанных дозами
 3 кГр (g -фактор $2,0077 \pm 0,0002$) (а)
 и 9 кГр (g -фактор $2,0035 \pm 0,0001$) (б)
 ($p \leq 0,05$)

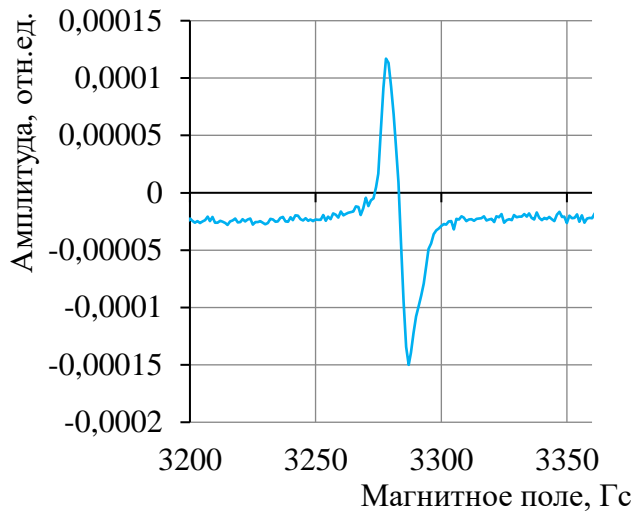
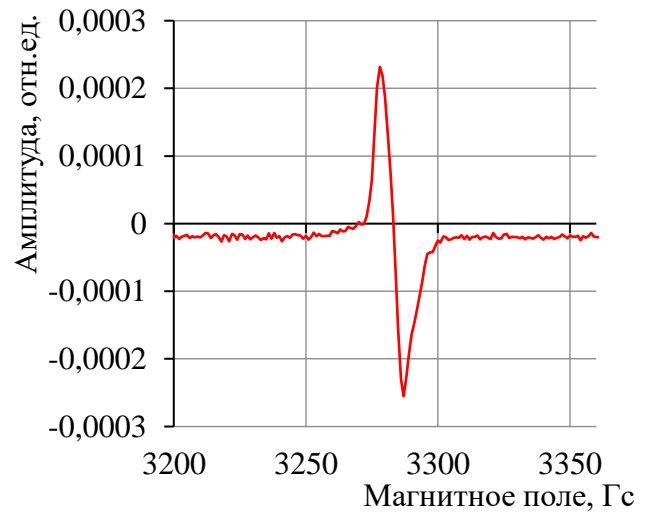
*a**б*

Рисунок Е.14 – Спектры ОКТ свинины, обработанных дозами
 10 кГр (g -фактор $2,0025 \pm 0,0001$) (*a*)
 и 12 кГр (g -фактор $2,0002 \pm 0,0001$) (*б*)
 ($p \leq 0,05$)

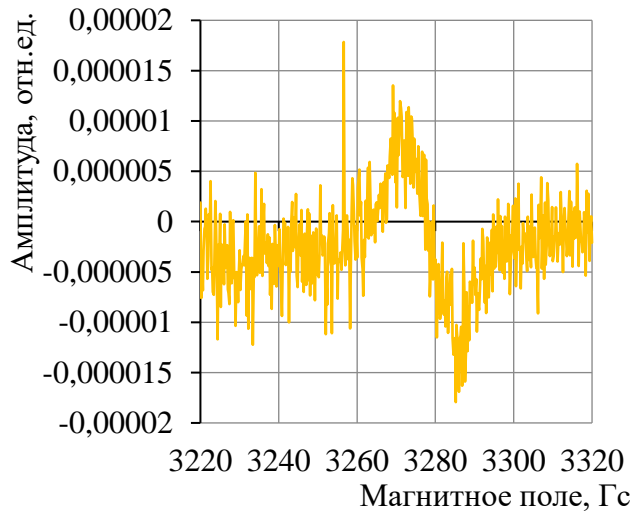
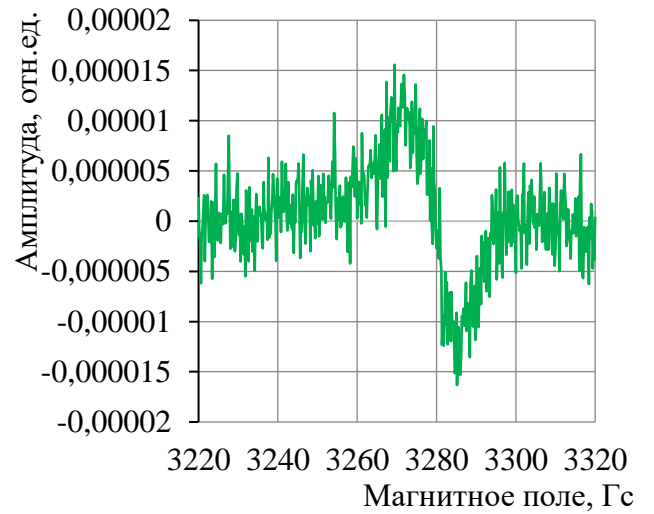
*a**б*

Рисунок Е.15 – Спектры ОКТ мяса птицы, обработанных дозами
 3 кГр (g -фактор $2,0046 \pm 0,0001$) (*a*)
 и 9 кГр (g -фактор $2,0048 \pm 0,0001$) (*б*)
 ($p \leq 0,05$)

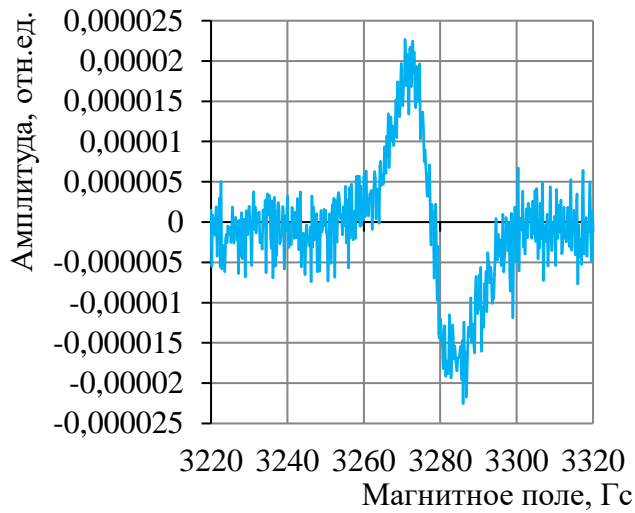
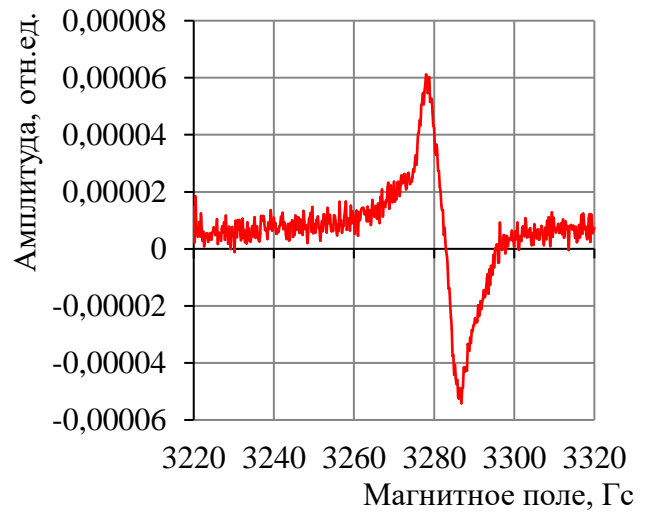
*a**б*

Рисунок Е.16 – Спектры ОКТ мяса птицы, обработанных дозами
10 кГр (g -фактор $2,0051 \pm 0,0001$) (*a*)
и 12 кГр (g -фактор $2,0029 \pm 0,0001$) (*б*)
($p \leq 0,05$)

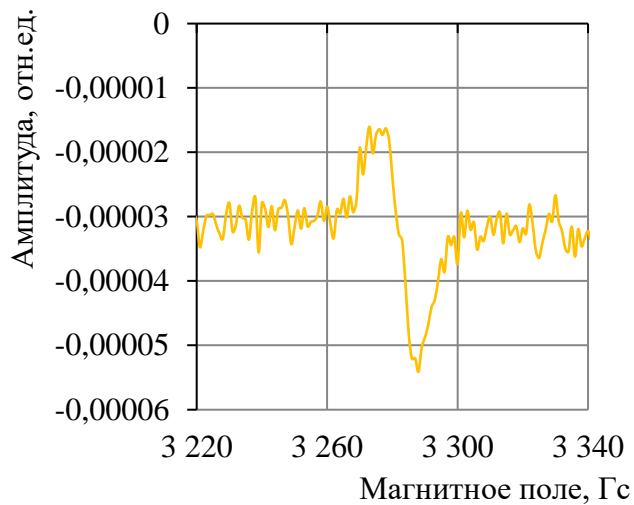
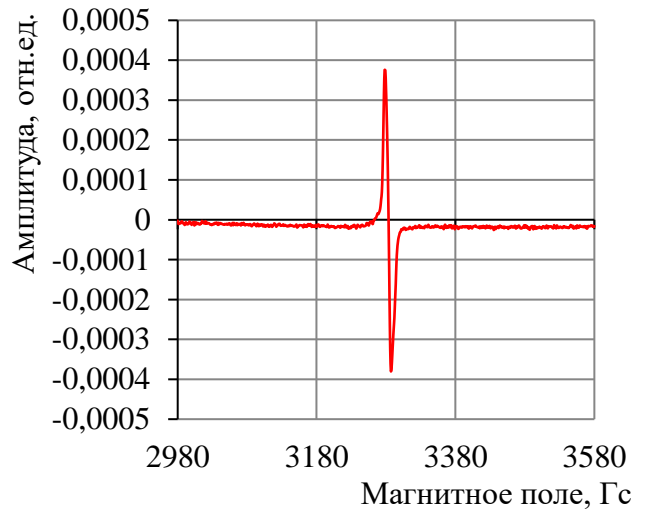
*a**б*

Рисунок Е.17 – Спектры ОКТ мяса косули, обработанных дозами
3 кГр (g -фактор $2,0053 \pm 0,0001$) (*a*)
и 12 кГр (g -фактор $2,0021 \pm 0,0001$) (*б*)
($p \leq 0,05$)

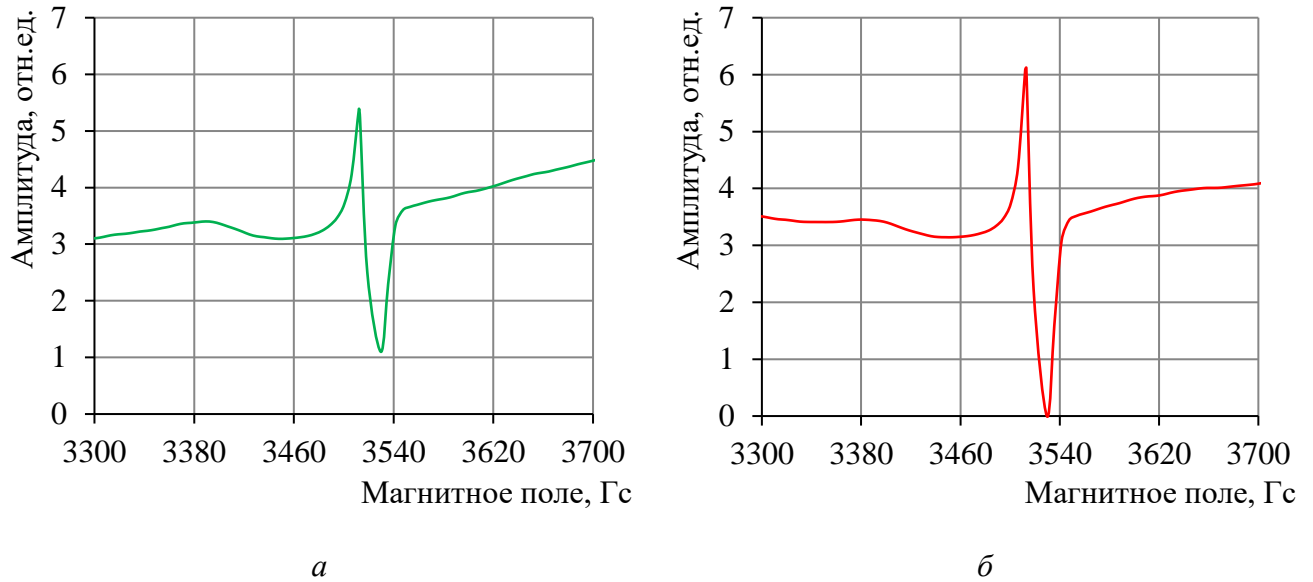


Рисунок Е.18 – Спектры ОКТ шейки свиной, упакованной с применением МГС обработанных дозами 8 кГр (g -фактор $2,0020 \pm 0,0001$) (*a*) и 12 кГр (g -фактор $2,0020 \pm 0,0001$) (*б*) ($p \leq 0,05$)

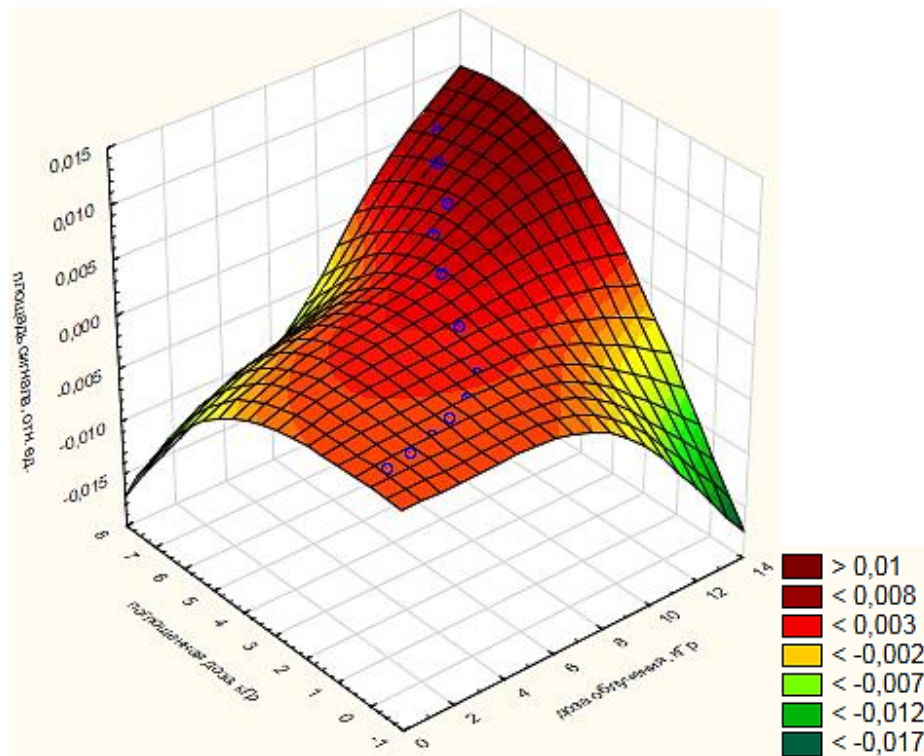


Рисунок Е.19 – Поверхность отклика $Y = f(X_1; X_2)$ для образцов костной ткани говядины ($p \leq 0,05$)

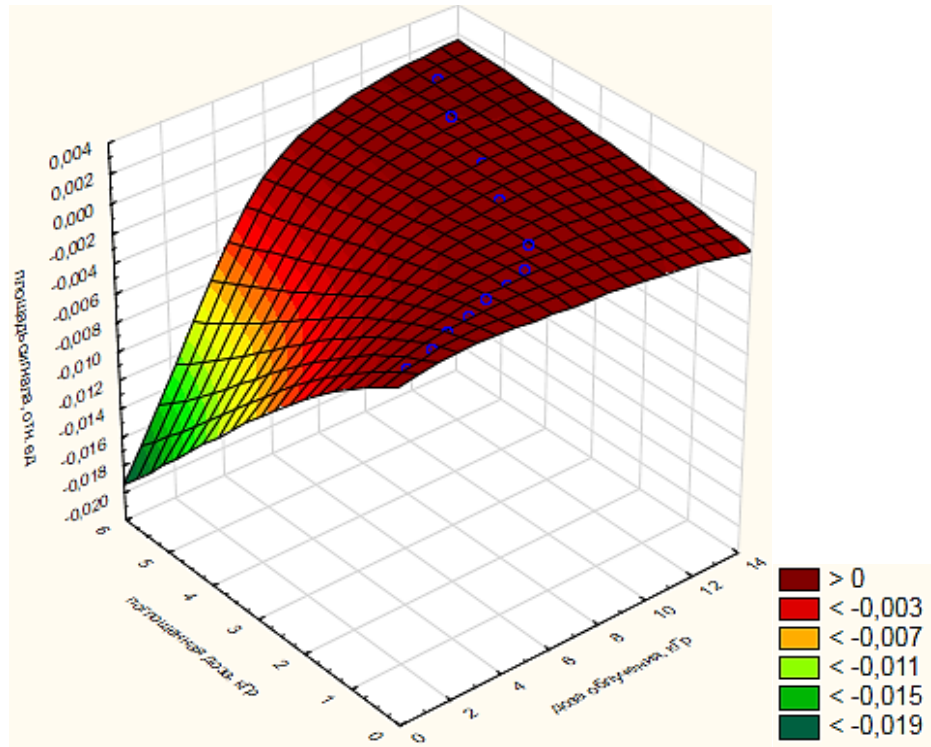


Рисунок Е.20 – Поверхность отклика $Y = f(X_1; X_2)$
для образцов костной ткани птицы ($p \leq 0,05$)

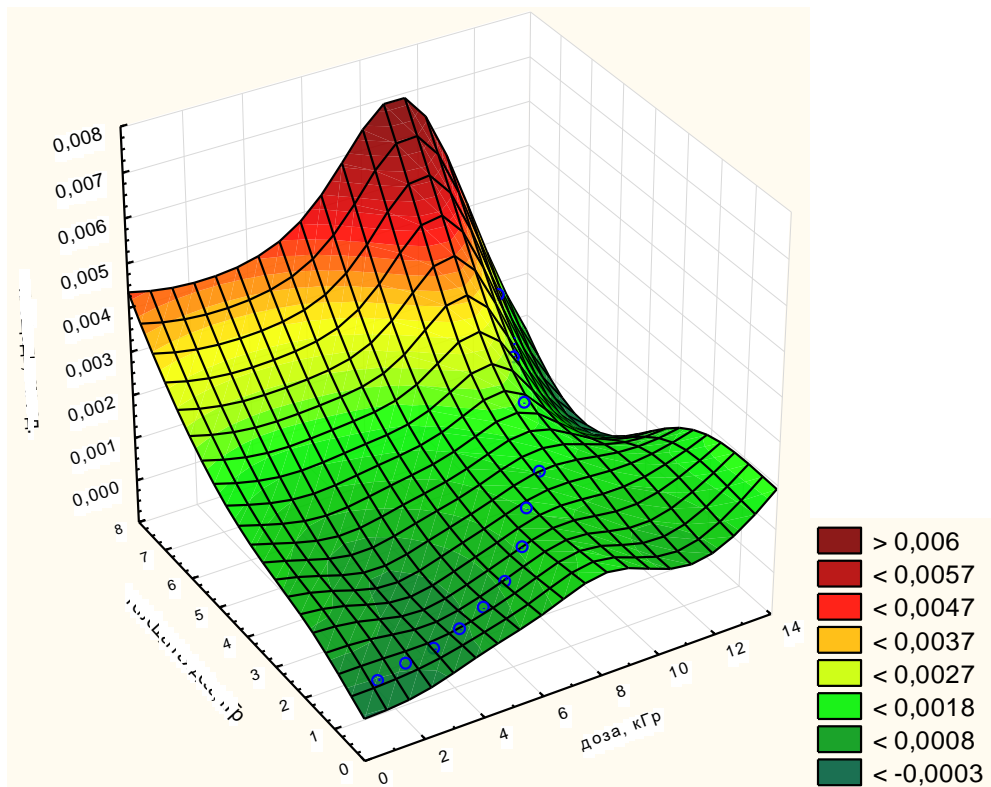


Рисунок Е.21 – Поверхность отклика $Y = f(X_1; X_2)$
для образцов костной ткани косули ($p \leq 0,05$)

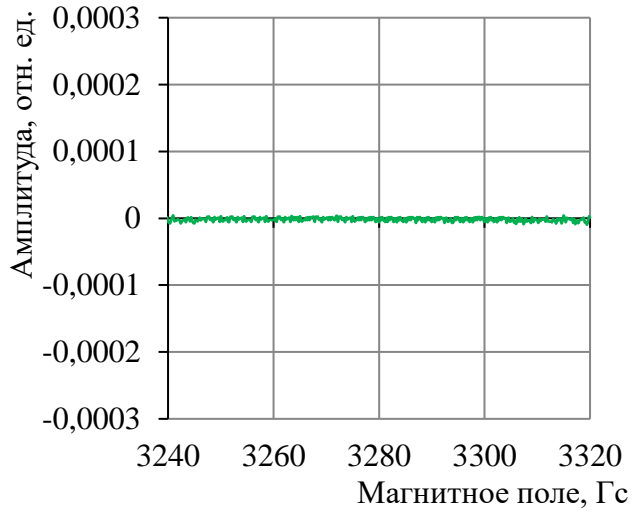
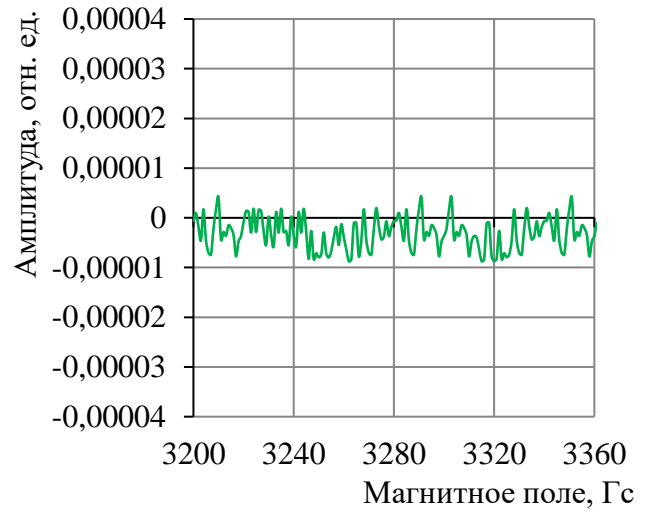
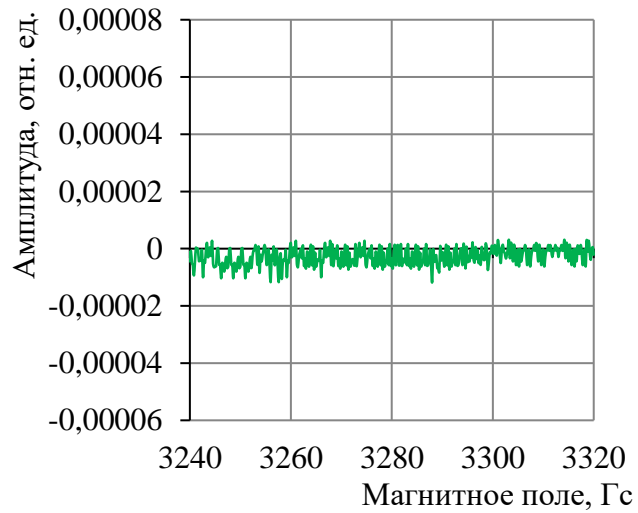
*a**б**в*

Рисунок Е.22 – Спектры ОМТ говядины (*a*), свинины (*б*), птицы (*в*) до обработки ионизирующим излучением

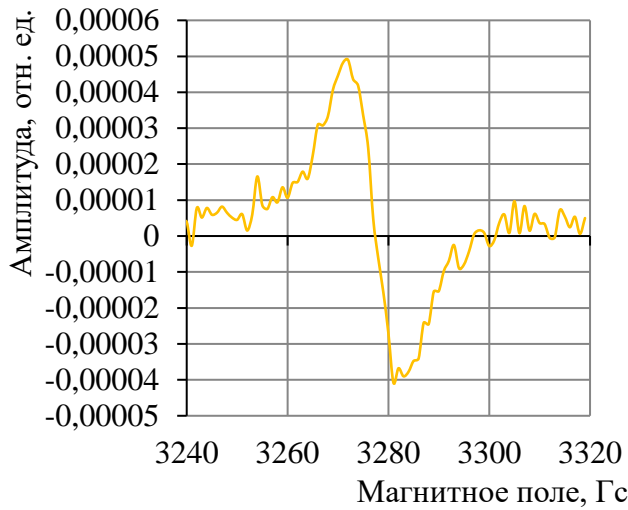
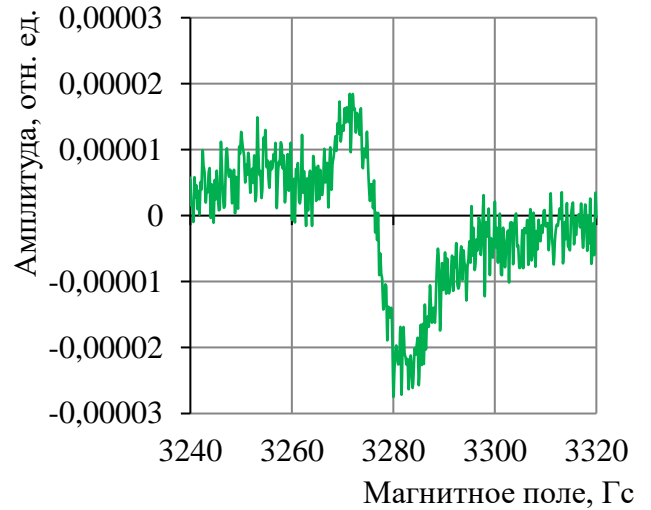
*a**б*

Рисунок Е.23 – Спектры ОМТ свинины, обработанных дозами
3 кГр (g -фактор $2,0062 \pm 0,0002$) (*a*)
и 9 кГр (g -фактор $2,0057 \pm 0,0002$) (*б*)
($p \leq 0,05$)

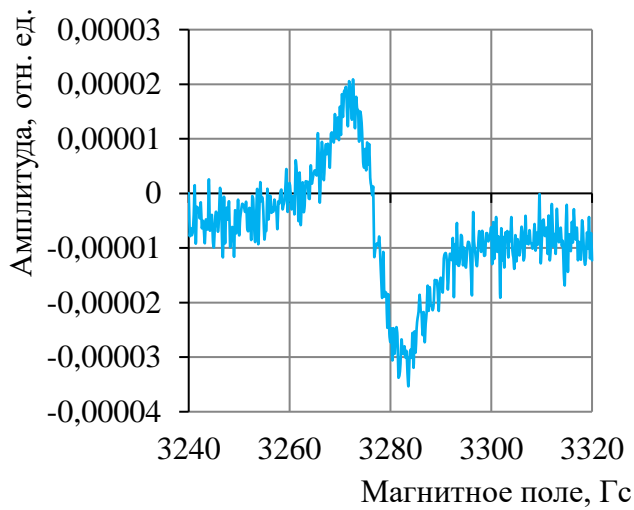
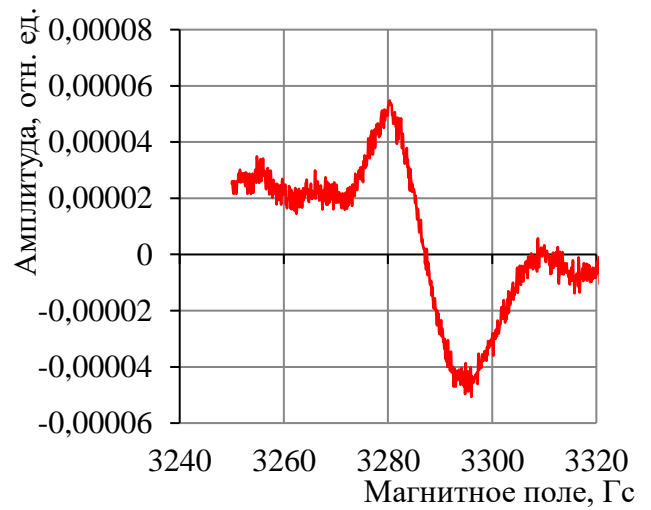
*a**б*

Рисунок Е.24 – Спектры ОМТ свинины, обработанных дозами
10 кГр (g -фактор $2,0006 \pm 0,0001$) (*a*)
и 12 кГр (g -фактор $1,9994 \pm 0,0002$) (*б*)
($p \leq 0,05$)

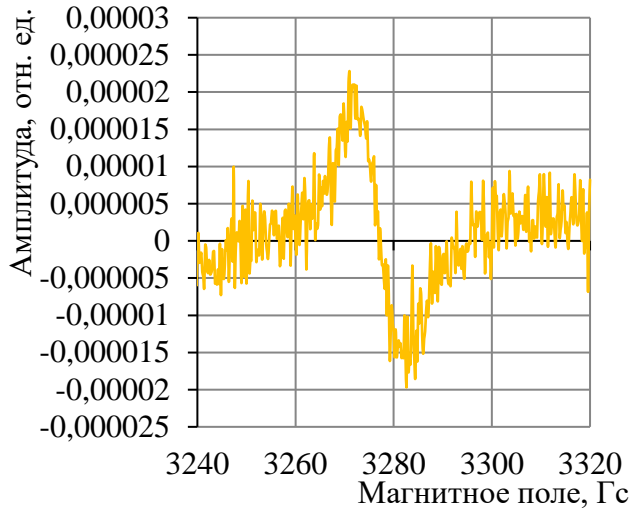
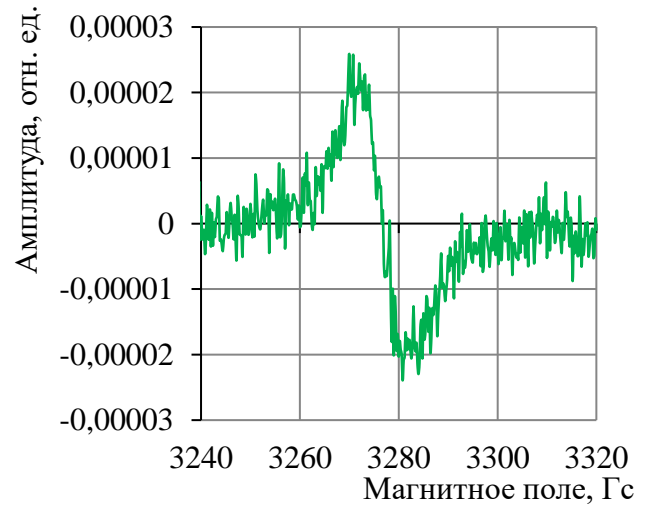
*a**б*

Рисунок Е.25 – Спектры ОМТ мяса птицы, обработанных дозами
3 кГр (g -фактор $2,0057 \pm 0,0002$) (*a*)
и 9 кГр (g -фактор $2,0062 \pm 0,0002$) (*б*)
($p \leq 0,05$)

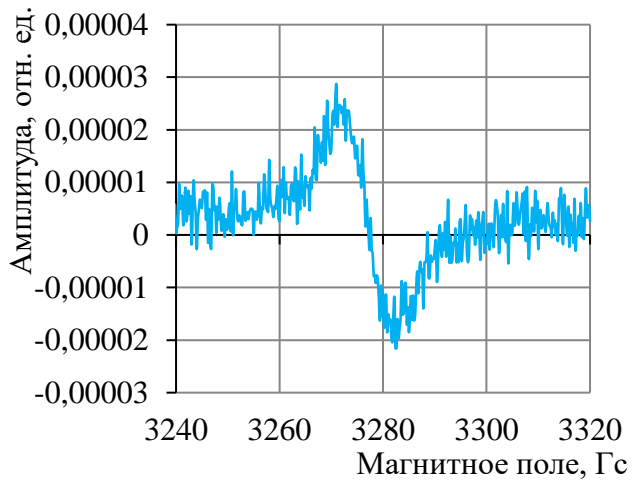
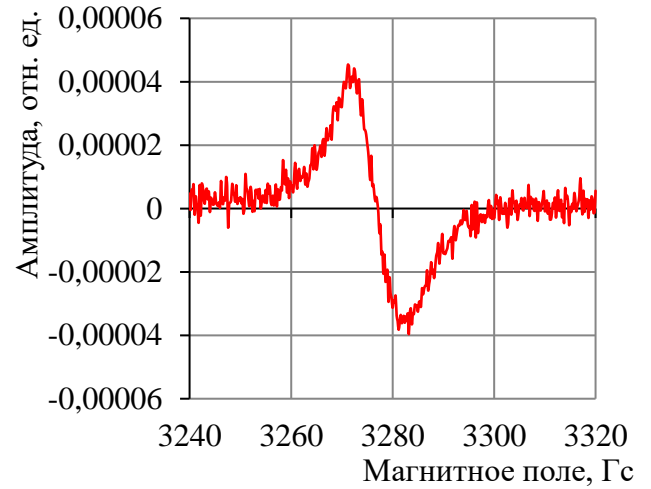
*a**б*

Рисунок Е.26 – Спектры ОМТ мяса птицы, обработанных дозами
10 кГр (g -фактор $2,0061 \pm 0,0002$) (*a*)
и 12 кГр (g -фактор $2,0060 \pm 0,0005$) (*б*)
($p \leq 0,05$)

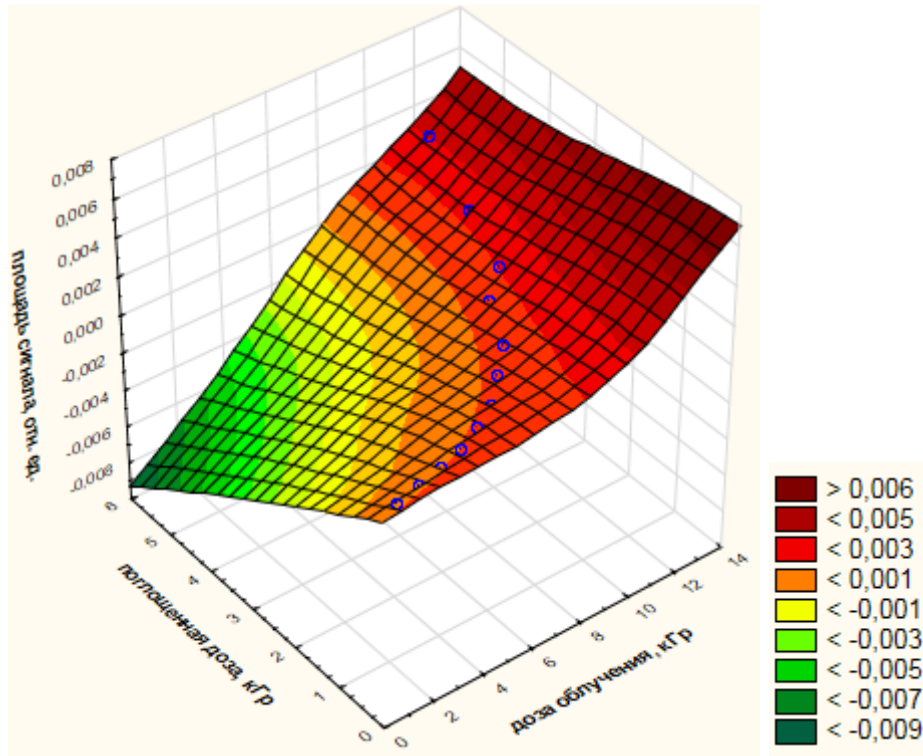


Рисунок Е.27 – Поверхность отклика $Y = f(X_1; X_2)$ для ОМТ говядины ($p \leq 0,05$)

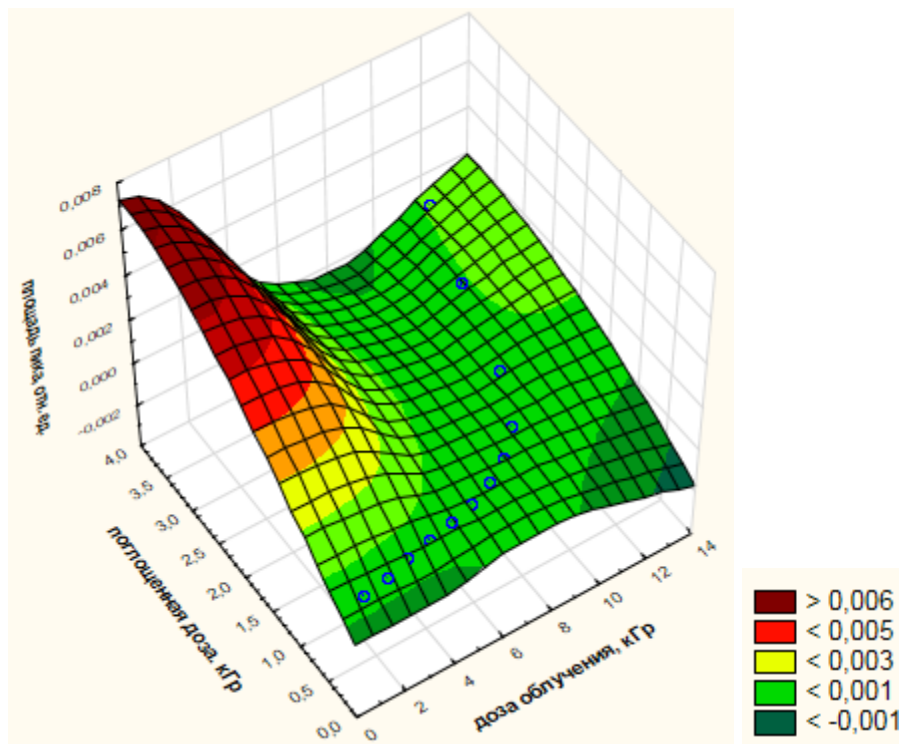


Рисунок Е.28 – Поверхность отклика $Y = f(X_1; X_2)$ для ОМТ птицы ($p \leq 0,05$)

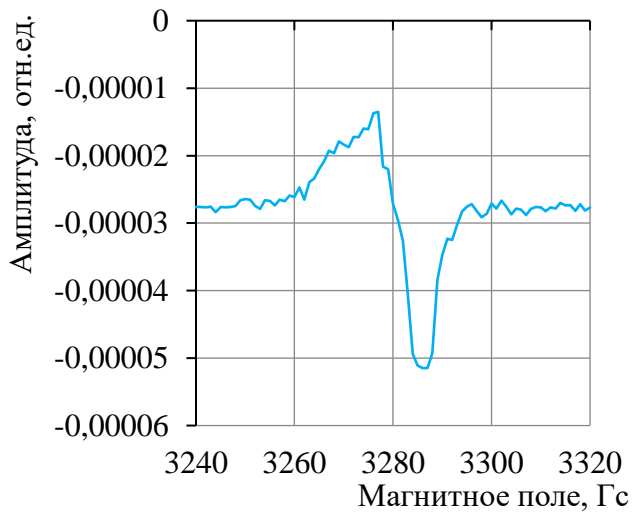
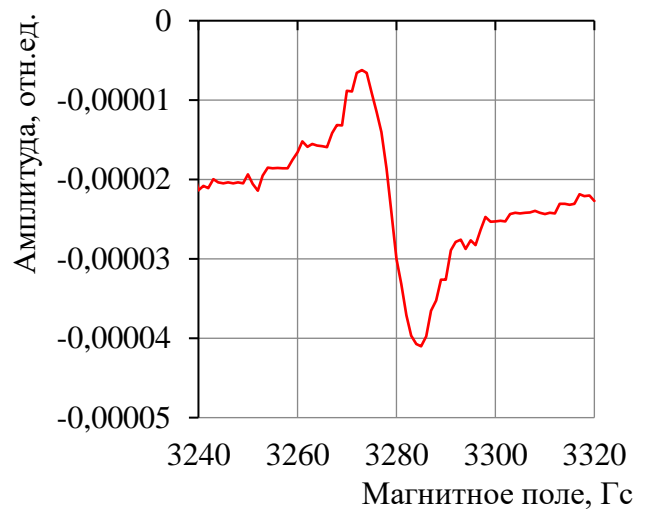
*a**б*

Рисунок Е.29 – Спектры ОКТ карпа охлажденного, обработанных дозами
10 кГр (g -фактор $2,0046 \pm 0,0001$) (*a*)
и 12 кГр (g -фактор $2,0046 \pm 0,0001$) (*б*)
($p \leq 0,05$)

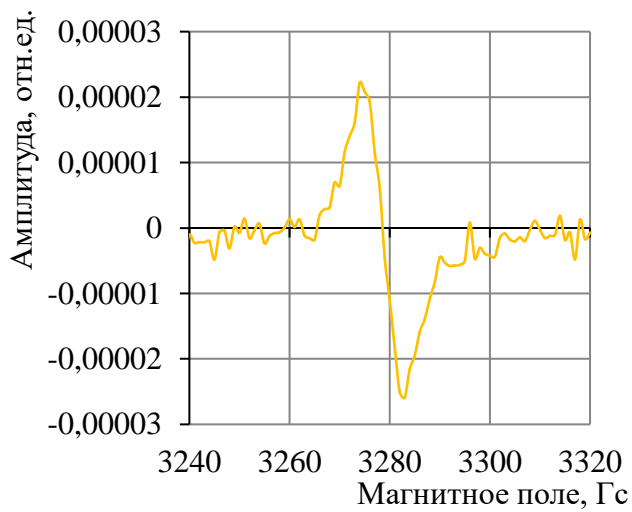
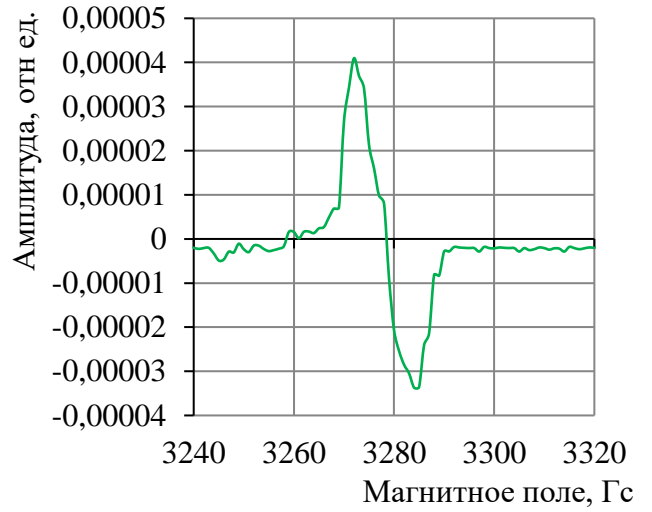
*a**б*

Рисунок Е.30 – Спектры ОКЧ рыбы, обработанных дозами
3 кГр (g -фактор $2,0049 \pm 0,0001$) (*a*)
и 9 кГр (g -фактор $2,0055 \pm 0,0002$) (*б*)
($p \leq 0,05$)

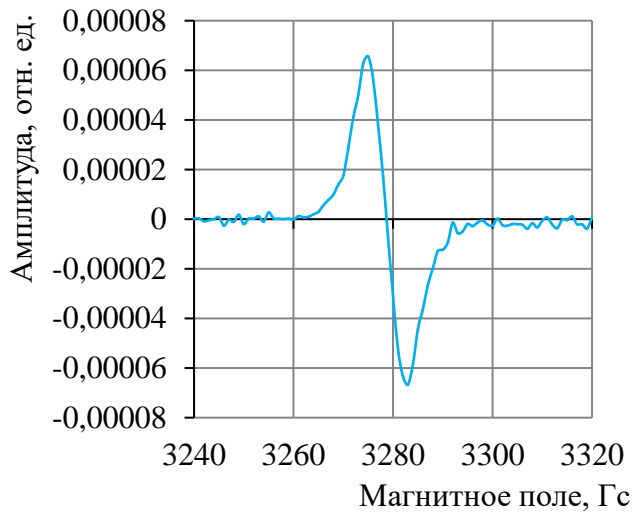
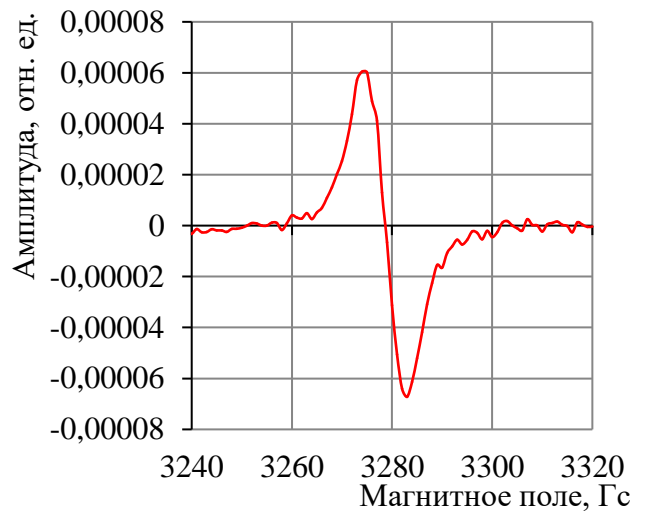
*a**б*

Рисунок Е.31 – Спектры ОКЧ рыбы, обработанных дозами
10 кГр (g -фактор $2,0049 \pm 0,0001$) (*a*)
и 12 кГр (g -фактор $2,0051 \pm 0,0002$) (*б*)
($p \leq 0,05$)

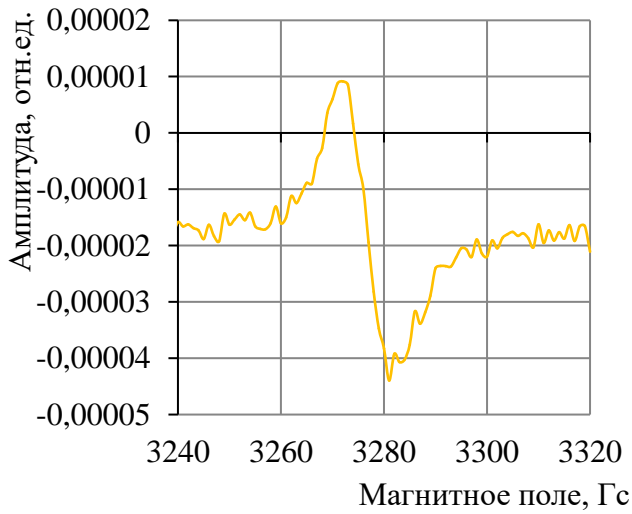
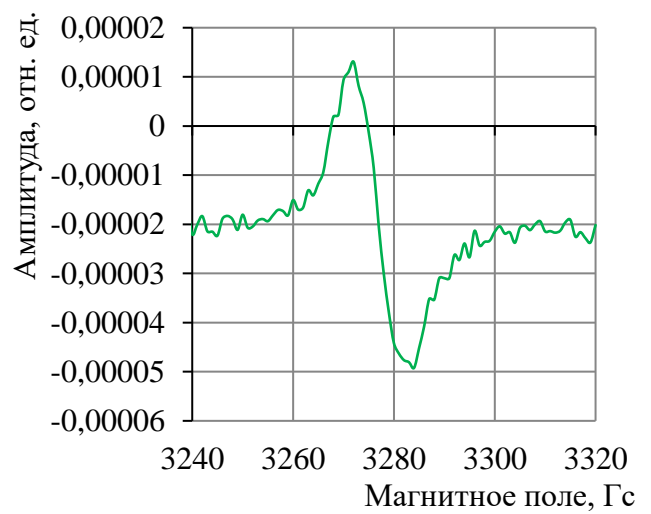
*a**б*

Рисунок Е.32 – Спектры ОМТ рыбы, обработанных дозами
3 кГр (g -фактор $2,0064 \pm 0,0001$) (*a*)
и 9 кГр (g -фактор $2,0057 \pm 0,0002$) (*б*)
($p \leq 0,05$)

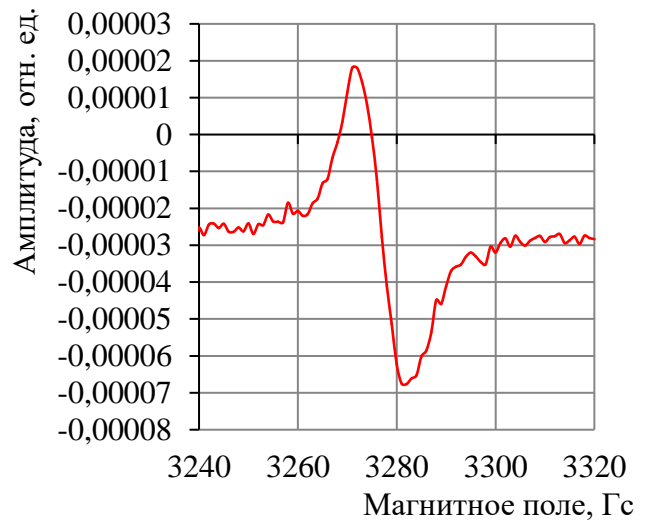
*a**б*

Рисунок Е.33 – Спектры ОМТ рыбы, обработанных дозами
10 кГр (g -фактор $0,0059 \pm 0,0003$) (*a*)
и 12 кГр (g -фактор $0,0063 \pm 0,0007$) (*б*)
($p \leq 0,05$)

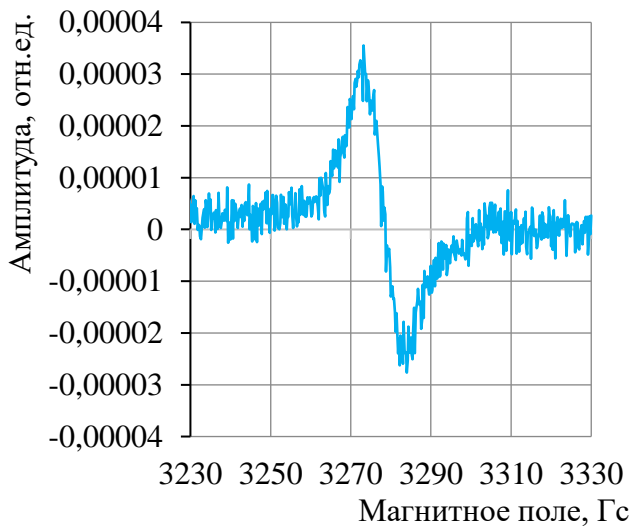
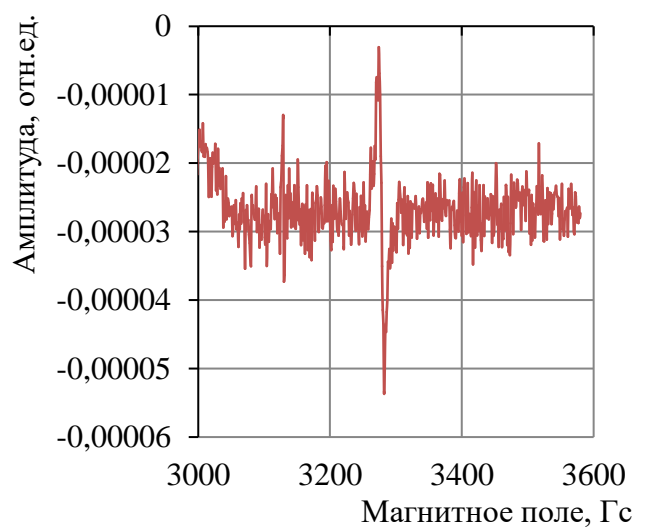
*a**б*

Рисунок Е.34 – Спектры образцов
чили жгучего молотого, обработанного дозой 12 кГр (g -фактор $2,0051 \pm 0,0001$) (*a*)
и чили острого молотого, обработанного дозой 12 кГр (g -фактор $2,0042 \pm 0,0001$) (*б*)
($p \leq 0,05$)

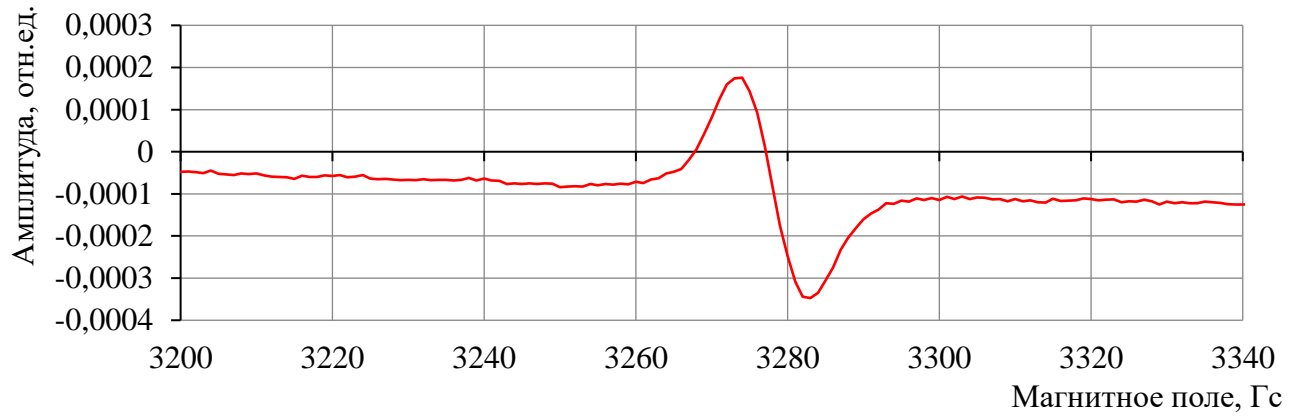


Рисунок 3.35 – Спектр образца куркумы молотой, обработанной дозой 12 кГр (g -фактор $2,0052 \pm 0,0001$) ($p \leq 0,05$)

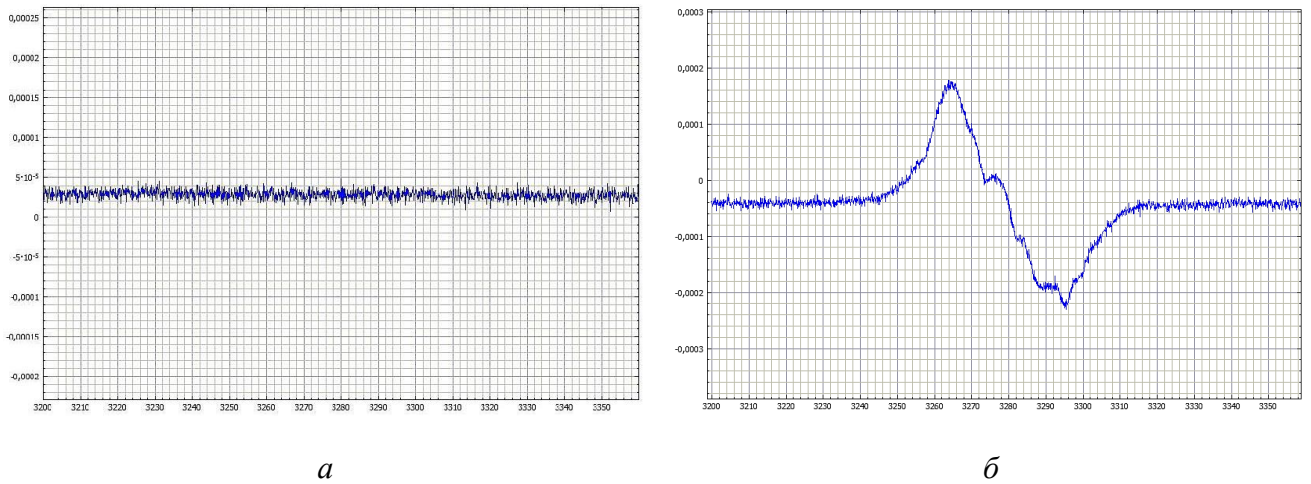


Рисунок E.36 – Спектры образцов изюма сушеного необработанного (а) и обработанного дозой 12 кГр (б) (g -фактор $2,0048 \pm 0,0001$) ($p \leq 0,05$)

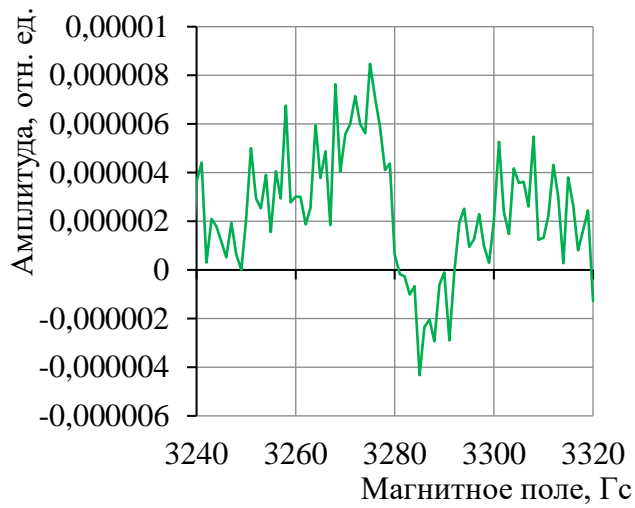
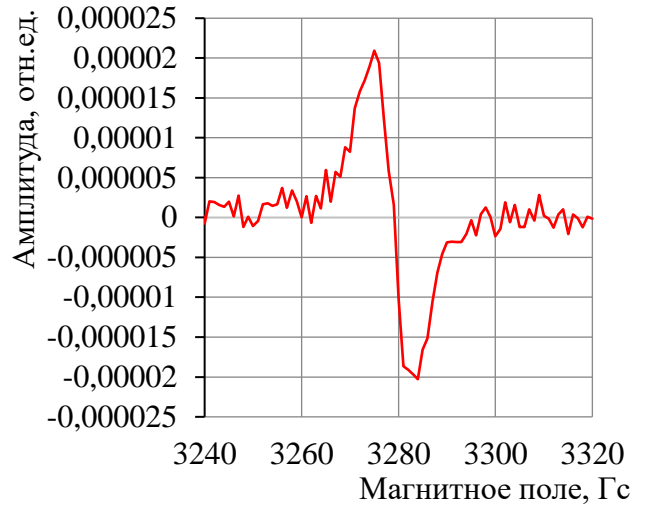
*a**б*

Рисунок Е.37 – ЭПР-спектры образцов яблок сорта «Ренет Платона Симиренко», обработанных дозой 9 кГр с разными g -факторами (g_1 -фактор $2,0045 \pm 0,0007$; g_2 -фактор $2,0042 \pm 0,0003$; g_3 -фактор $2,0024 \pm 0,0002$) (а) и обработанных дозой 12 кГр (g -фактор $2,0044 \pm 0,0004$) (б) ($p \leq 0,05$)

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

РАЗРАБОТКА ПРОГНОЗНЫХ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

		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	

а

		Ширина, см								
		0	5	10	15	20	25	30	35	40
Длина, см	0	0,91	0,94	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,94	0,91
	5	0,92	0,94	0,95	0,96	0,96	0,96	0,95	0,94	0,92
	10	0,93	0,95	0,95	0,96	0,97	0,96	0,95	0,95	0,93
	15	0,93	0,95	0,96	0,97	0,97	0,97	0,96	0,95	0,93
	20	0,94	0,95	0,96	0,97	0,97	0,97	0,96	0,95	0,94
	25	0,94	0,96	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,96	0,94
	30	0,94	0,96	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,96	0,94
	35	0,94	0,96	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,96	0,94
	40	0,94	0,95	0,96	0,97	0,97	0,97	0,96	0,95	0,94
	45	0,93	0,95	0,96	0,97	0,97	0,97	0,96	0,95	0,93
	50	0,93	0,95	0,95	0,96	0,97	0,96	0,95	0,95	0,93
	55	0,92	0,94	0,95	0,96	0,96	0,96	0,95	0,94	0,92
60	0,91	0,94	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,94	0,91	

б

		Ширина, см								
		0	5	10	15	20	25	30	35	40
Длина, см	0	0,91	0,94	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,94	0,91
	5	0,92	0,94	0,95	0,96	0,96	0,96	0,95	0,94	0,92
	10	0,93	0,95	0,95	0,95	0,97	0,96	0,96	0,95	0,93
	15	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,97	0,96	0,95	0,91
	20	0,94	0,95	0,96	0,97	0,97	0,96	0,96	0,96	0,94
	25	0,85	0,96	0,97	0,94	0,97	0,96	0,97	0,96	0,94
	30	0,94	0,93	0,97	0,96	0,97	0,97	0,87	0,96	0,93
	35	0,94	0,96	0,87	0,97	0,97	0,97	0,97	0,95	0,94
	40	0,94	0,95	0,96	0,97	0,97	0,96	0,93	0,95	0,94
	45	0,93	0,95	0,92	0,97	0,95	0,97	0,96	0,95	0,93
	50	0,93	0,95	0,95	0,96	0,97	0,96	0,95	0,88	0,93
	55	0,92	0,94	0,95	0,96	0,96	0,95	0,95	0,94	0,92
60	0,91	0,94	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,94	0,91	

в

Рисунок Ж.1 – Схема распределения поверхностной дозы
(в соответствии с коэффициентами):

a – верхняя/нижняя поверхность;

б, в – горизонтальная проекция поверхности на 1/2 глубины технологической загрузки

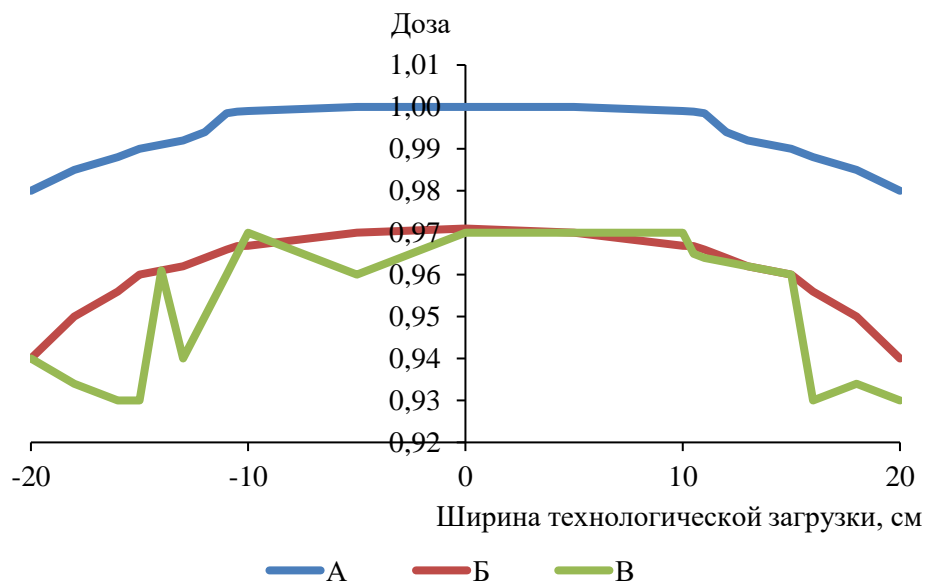


Рисунок Ж.2 – Профиль поверхностной дозы технологической загрузки
(в соответствии с коэффициентами):

a – верхняя/нижняя поверхности;

б, в – горизонтальная проекция поверхности на 1/2 глубины загрузки

ПРИЛОЖЕНИЕ И

ОРГАНОЛЕПТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОБРАЗЦОВ МЯСНОГО СЫРЬЯ

Таблица И.1 – Органолептическая характеристика образцов охлажденной свинины до и после обработки ионизирующим излучением

Наименование показателя по ГОСТ 7269-2015, ГОСТ 31778-2012	Доза облучения, кГр				
	0	3	9	10	12
Внешний вид и цвет поверхности	Светло-розовый	Светло-розовый	Светло-розовый	Темно-розовый	Темно-розовый
Мышцы на разрезе	Слегка влажные, не оставляют влажного пятна на фильтровальной бумаге	Влажноватые, не оставляют влажного пятна на фильтровальной бумаге	Чуть влажноватые, не оставляют влажного пятна на фильтровальной бумаге	Слегка влажноватые, не оставляют влажного пятна на фильтровальной бумаге	Слегка влажноватые, не оставляют влажного пятна на фильтровальной бумаге
Консистенция	Плотная, упругая; образующаяся при надавливании пальцем ямка быстро выравнивается	Плотная, упругая; образующаяся при надавливании пальцем ямка выравнивается менее чем за 10 с	Менее плотная, менее упругая. Образующаяся при надавливании пальцем ямка выравнивается в течение 30 с	Чуть рыхловатая, не очень упругая. Образующаяся при надавливании пальцем ямка выравнивается замедленно (до 40 с)	Немного рыхлая, более мягкая. Образующаяся при надавливании пальцем ямка выравнивается медленно (до 50 с)
Запах	Специфический, свойственный свежему доброкачественному мясу	Специфический, свойственный свежему доброкачественному мясу	Специфический, свойственный свежему доброкачественному мясу	Специфический, свойственный свежему доброкачественному мясу	Специфический, свойственный свежему доброкачественному мясу

Наименование показателя по ГОСТ 7269-2015, ГОСТ 31778-2012	Доза облучения, кГр				
	0	3	9	10	12
Состояние жира (цвет, запах, консистенция)	Цвет белый, не имеет запаха осаливания или прогоркания, консистенция плотная, эластичная	Цвет белый, не имеет запаха осаливания или прогоркания, консистенция плотная, эластичная	Цвет белый, не имеет запаха осаливания или прогоркания, консистенция слегка мягковатая, эластичная	Цвет белый, не имеет запаха осаливания или прогоркания, консистенция слегка мягковатая, менее эластичная	Цвет белый, не имеет запаха осаливания или прогоркания, консистенция слегка мягковатая
Состояние сухожилий	Сухожилия упругие, плотные, поверхность суставов гладкая, блестящая, светло-розового цвета	Сухожилия упругие, плотные, поверхность суставов гладкая, блестящая, светло-розового цвета	Сухожилия упругие, плотные, поверхность суставов гладкая, блестящая, светло-розового цвета	Сухожилия упругие, менее плотные, поверхность суставов гладкая, блестящая, розового цвета	Сухожилия менее упругие, менее плотные, поверхность суставов гладкая, розового цвета
Прозрачность и запах бульона	Прозрачный, с выраженным запахом свежего доброкачественного мяса	Прозрачный, с выраженным запахом свежего доброкачественного мяса	Прозрачный, с выраженным запахом свежего доброкачественного мяса	Прозрачный, с выраженным запахом свежего доброкачественного мяса	Прозрачный, с выраженным запахом свежего мяса

Таблица И.2 – Органолептическая характеристика образцов мяса косули до и после обработки ионизирующим излучением

Наименование показателя по ГОСТ 7269-2015, РСТ РСФСР 738-86	Доза облучения, кГр				
	0	3	9	10	12
Внешний вид и цвет поверхности	Темно-красный	Темно-красный	Темно-красный	Темно-красный	Темно-красный
Мышцы на разрезе	Слегка влажные, мелкозернистые, не оставляют влажного пятна на фильтровальной бумаге	Мелкозернистые, влажноватые, не оставляют влажного пятна на фильтровальной бумаге	Чуть влажноватые, мелкозернистые, не оставляют влажного пятна на фильтровальной бумаге	Чуть влажноватые, мелкозернистые, не оставляют влажного пятна на фильтровальной бумаге	Чуть влажноватые, мелкозернистые, не оставляют влажного пятна на фильтровальной бумаге

Наименование показателя по ГОСТ 7269-2015, РСТ РСФСР 738-86	Доза облучения, кГр				
	0	3	9	10	12
Консистенция	На разрезе мясо плотное, упругое; образующаяся при надавливании пальцем ямка быстро выравнивается	На разрезе мясо плотное, упругое. Образующаяся при надавливании пальцем ямка выравнивается менее чем за 10 с	На разрезе мясо чуть менее упругое. Образующаяся при надавливании пальцем ямка выравнивается до 30 с	На разрезе мясо чуть мягкое. Образующаяся при надавливании пальцем ямка выравнивается до 40 с	На разрезе мясо чуть мягковатое. Образующаяся при надавливании пальцем ямка выравнивается до 50 с
Запах	Специфический, свойственный свежему доброкачественному мясу	Специфический, свойственный свежему доброкачественному мясу	Свойственный свежему доброкачественному мясу	Свойственный свежему доброкачественному мясу	Свойственный свежему доброкачественному мясу
Состояние жира (цвет, запах, консистенция)	Цвет белый с желтовато-сероватым оттенком, не имеет запаха осаливания, консистенция плотная, эластичная	Цвет белый с желтовато-сероватым оттенком, не имеет запаха осаливания, консистенция плотная, эластичная	Цвет белый с желтовато-сероватым оттенком, не имеет запаха осаливания, консистенция, слегка мягковатая	Цвет белый с сероватым оттенком, не имеет запаха осаливания, консистенция, слегка мягковатая, при раздавливании образуются мягковатые крошки	Цвет белый с сероватым оттенком, не имеет запаха осаливания, консистенция, слегка мягковатая, при раздавливании образуются мягковатые крошки
Состояние сухожилий	Сухожилия упругие, плотные, поверхность суставов гладкая, блестящая	Сухожилия упругие, плотные, поверхность суставов гладкая, блестящая	Сухожилия упругие, плотные, поверхность суставов гладкая, блестящая	Сухожилия упругие, менее плотные, поверхность суставов гладкая, блестящая	Сухожилия менее упругие, менее плотные, поверхность суставов гладкая
Прозрачность и запах бульона	Прозрачный, с запахом свежего доброкачественного мяса	Прозрачный, с запахом свежего доброкачественного мяса	Прозрачный, с запахом свежего доброкачественного мяса	Прозрачный, с запахом свежего доброкачественного мяса	Прозрачный, с запахом свежего мяса

Таблица И.3 – Органолептическая характеристика образцов охлажденной птицы до и после обработки ионизирующим излучением

Наименование показателя по ГОСТ Р 51944-2002, ГОСТ 32692-2013	Доза облучения, кГр				
	0	3	9	10	12
Внешний вид и цвет поверхности	Беловато-желтого цвета с розовым оттенком	Беловато-желтого цвета с розовым оттенком	Беловато-желтого цвета	Беловато-желтого цвета	Желтовато-серого цвета
Внешний вид и цвет подкожной и внутренней жировой ткани	Бледно-желтого цвета	Бледно-желтого цвета	Бледно-желтого цвета	Бледно-желтого цвета	Бледно-желтого цвета с серым оттенком
Мышцы на разрезе	Слегка влажные, не оставляют влажного пятна на фильтровальной бумаге	Влажноватые, не оставляют влажного пятна на фильтровальной бумаге	Чуть влажноватые, не оставляют влажного пятна на фильтровальной бумаге	Слегка влажноватые, не оставляют влажного пятна на фильтровальной бумаге	Слегка заветренные, не оставляют влажного пятна на фильтровальной бумаге
Консистенция	Мышцы плотные, упругие; образующаяся при надавливании пальцем ямка быстро выравнивается	Мышцы плотные, упругие. Образующаяся при надавливании пальцем ямка выравнивается менее чем за 10 с	Менее плотная, более мягкая. Образующаяся при надавливании пальцем ямка выравнивается до 35 с	Чуть рыхловатая, более мягкая. Образующаяся при надавливании пальцем ямка выравнивается до 50 с	Немного рыхлая, мягкая. Образующаяся при надавливании пальцем ямка выравнивается более 60 с
Запах	Специфический, свойственный свежему мясу птицы	Специфический, свойственный свежему мясу птицы	Специфический, свойственный свежему мясу птицы	Специфический, свойственный мясу птицы, без порочащих признаков	Слабый, без порочащих признаков
Прозрачность и запах бульона	Прозрачный, ароматный	Прозрачный, ароматный	Прозрачный, ароматный	Прозрачный, ароматный	Мутноватый, с невыраженным ароматом

ПРИЛОЖЕНИЕ К

ОРГАНОЛЕПТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ОБРАЗЦОВ ШЕЙКИ СВИНОЙ, УПАКОВАННОЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ МГС

Таблица К.1 – Органолептическая оценка необработанных и обработанных разными дозами ионизирующего излучения образцов охлажденной шейки свиной, упакованной с применением МГС, балл (через 10 сут хранения)

Наименование показателя по ГОСТ 7269-2015, ГОСТ 32951-2014	Доза облучения, кГр											
	0			8			9			12		
	Характеристика	Балл	С учетом коэффициента весомости	Характеристика	Балл	С учетом коэффициента весомости	Характеристика	Балл	С учетом коэффициента весомости	Характеристика	Балл	С учетом коэффициента весомости
Внешний вид и цвет поверхности	Привлекательный, цвет розовато-красный	5	1,00	Привлекательный, цвет розовато-красный	5	1,00	Привлекательный, цвет розовато-красный	5	1,00	Привлекательный, цвет розовато-красный	5	1,00
Мышцы на разрезе	Слегка влажные, не оставляют влажного пятна на фильтровальной бумаге	5	0,75	Слегка влажноватые, не оставляют влажного пятна на фильтровальной бумаге	5	0,75	Слегка влажноватые, не оставляют влажного пятна на фильтровальной бумаге	5	0,75	Слегка влажноватые, не оставляют влажного пятна на фильтровальной бумаге	5	0,75
Консистенция	Плотная, упругая; образующаяся при надавливании пальцем ямка быстро выравнивается	5	0,75	Плотная, упругая; образующаяся при надавливании пальцем ямка быстро выравнивается	5	0,75	Плотная, упругая; образующаяся при надавливании пальцем ямка быстро выравнивается	5	0,75	Плотная, упругая; образующаяся при надавливании пальцем ямка быстро выравнивается	5	0,75

Наименование показателя по ГОСТ 7269-2015, ГОСТ 32951-2014	Доза облучения, кГр											
	0			8			9			12		
	Характеристика	Балл	С учетом коэффициента весомости	Характеристика	Балл	С учетом коэффициента весомости	Характеристика	Балл	С учетом коэффициента весомости	Характеристика	Балл	С учетом коэффициента весомости
Запах	Специфический, свойственный свежему доброкачественному мясу	5	1,25	Специфический, свойственный свежему доброкачественному мясу	5	1,25	Специфический, свойственный свежему доброкачественному мясу	5	1,25	Специфический, свойственный свежему доброкачественному мясу	5	1,25
Состояние жира (цвет, запах, консистенция)	Цвет белый, не имеет запаха осаливания или прогоркания, консистенция плотная, эластичная	5	0,75	Цвет белый, не имеет запаха осаливания или прогоркания, консистенция мягковатая, эластичная	5	0,75	Цвет белый, не имеет запаха осаливания или прогоркания, консистенция слегка мягковатая, эластичная	5	0,75	Цвет белый, не имеет запаха осаливания или прогоркания, консистенция слегка мягковатая, эластичная	5	0,75
Состояние сухожилий	Сухожилия упругие, плотные, поверхность суставов гладкая, блестящая, светло-розового цвета	5	0,50	Сухожилия упругие, плотные, поверхность суставов гладкая, блестящая, светло-розового цвета	5	0,50	Сухожилия упругие, плотные, поверхность суставов гладкая, блестящая, светло-розового цвета	5	0,50	Сухожилия упругие, плотные, поверхность суставов гладкая, блестящая, светло-розового цвета	5	0,50
<i>Сумма баллов</i>	5			5			5			5		

Таблица К.2 – Органолептическая оценка необработанных и обработанных разными дозами ионизирующего излучения образцов охлажденной шейки свинной, упакованной с применением МГС, балл (через 20 сут хранения)

Наименование показателя по ГОСТ 7269-2015, ГОСТ 32951-2014	Доза облучения, кГр											
	0			8			9			12		
	Характеристика	Балл	С учетом коэффициента весомости	Характеристика	Балл	С учетом коэффициента весомости	Характеристика	Балл	С учетом коэффициента весомости	Характеристика	Балл	С учетом коэффициента весомости
Внешний вид и цвет поверхности	Непривлекательный, цвет серовато-красный	2,5	0,50	Привлекательный, цвет розово-красный	5,0	1,00	Привлекательный, цвет темно-розовый	4,9	0,98	Привлекательный, цвет темно-розовый	4,7	0,94
Мышцы на разрезе	Влажные, не оставляют влажного пятна на фильтровальной бумаге, слегка липкие	2,0	0,30	Слегка влажноватые, не оставляют влажного пятна на фильтровальной бумаге	5,0	0,75	Слегка влажноватые, не оставляют влажного пятна на фильтровальной бумаге	4,9	0,74	Влажноватые, не оставляют влажного пятна на фильтровальной бумаге	4,8	0,72
Консистенция	Мягкая; образующаяся при надавливании пальцем ямка выравнивается медленно	2,0	0,30	Плотная, упругая. Образующаяся при надавливании пальцем ямка выравнивается менее чем за 10 с	4,8	0,72	Менее плотная. Образующаяся при надавливании пальцем ямка выравнивается до 20 с	4,7	0,71	Чуть рыхловатая. Образующаяся при надавливании пальцем ямка выравнивается до 30 с	4,4	0,66
Запах	Осалистости, свойственный мясу сомнительной свежести	1,8	0,53	Специфический, свойственный свежему доброкачественному мясу	5,0	1,25	Специфический, свойственный свежему доброкачественному мясу	4,7	1,18	Специфический, свойственный свежему мясу	4,5	1,13

Наименование показателя по ГОСТ 7269-2015, ГОСТ 32951-2014	Доза облучения, кГр											
	0			8			9			12		
	Характеристика	Балл	С учетом коэффициента весомости	Характеристика	Балл	С учетом коэффициента весомости	Характеристика	Балл	С учетом коэффициента весомости	Характеристика	Балл	С учетом коэффициента весомости
Состояние жира (цвет, запах, консистенция)	Цвет сероватого оттенка, консистенция мягкая, мажущая	1,7	0,26	Цвет белый, не имеет запаха осаливания или прогоркания, консистенция мягковатая, эластичная	5,0	0,75	Цвет белый, не имеет запаха осаливания или прогоркания, консистенция мягковатая и менее эластичная	4,8	0,72	Цвет белый, не имеет запаха осаливания или прогоркания, консистенция слегка рыхлая	4,6	0,69
Состояние сухожилий	Сухожилия мягкие, поверхность суставов матовая, коричневатого цвета	3,0	0,30	Сухожилия упругие, плотные, поверхность суставов гладкая, блестящая, светло-розового цвета	5,0	0,50	Сухожилия упругие, плотные, поверхность суставов гладкая, блестящая, светло-розового цвета	5,0	0,50	Сухожилия упругие, плотные, поверхность суставов гладкая, блестящая, светло-розового цвета	5,0	0,50
<i>Сумма баллов</i>	<i>2,19</i>			<i>4,97</i>			<i>4,83</i>			<i>4,64</i>		

Таблица К.3 – Органолептическая оценка необработанных и обработанных разными дозами ионизирующего излучения образцов охлажденной шейки свинной, упакованной с применением МГС, балл (через 30 сут хранения)

Наименование показателя по ГОСТ 7269-2015, ГОСТ 32951-2014	Доза облучения, кГр											
	0			8			9			12		
	Характеристика	Балл	С учетом коэффициента весомости	Характеристика	Балл	С учетом коэффициента весомости	Характеристика	Балл	С учетом коэффициента весомости	Характеристика	Балл	С учетом коэффициента весомости
Внешний вид и цвет поверхности	Потемневший, с наличием зеленых участков	0,5	0,10	Привлекательный, цвет розово-красный	5,0	1,00	Привлекательный, цвет темно-розовый	4,8	0,96	Цвет темно-красный	4,7	0,94
Мышцы на разрезе	Набухшие, неплотно прилегают друг к другу, липкие	1,8	0,27	Слегка влажноватые, не оставляют влажного пятна на фильтровальной бумаге	5,0	0,75	Влажноватые, не оставляют влажного пятна на фильтровальной бумаге	4,6	0,69	Влажноватые, не оставляют влажного пятна на фильтровальной бумаге	4,0	0,60
Консистенция	Неплотная. Образующаяся при надавливании пальцем ямка не выравнивается	1,7	0,26	Плотная, упругая. Образующаяся при надавливании пальцем ямка выравнивается менее чем за 15 с	4,7	0,71	Менее плотная. Образующаяся при надавливании пальцем ямка выравнивается до 30 с	4,6	0,69	Чуть рыхловатая. Образующаяся при надавливании пальцем ямка выравнивается до 50 с	4,2	0,63
Запах	Неприятный, слегка кисловатый	0,5	0,13	Специфический, свойственный свежему доброкачественному мясу	5,0	1,25	Свойственный свежему мясу	4,0	1,00	Свойственный, слегка кисловатый	3,6	0,90

Наименование показателя по ГОСТ 7269-2015, ГОСТ 32951-2014	Доза облучения, кГр											
	0			8			9			12		
	Характеристика	Балл	С учетом коэффициента весомости	Характеристика	Балл	С учетом коэффициента весомости	Характеристика	Балл	С учетом коэффициента весомости	Характеристика	Балл	С учетом коэффициента весомости
Состояние жира (цвет, запах, консистенция)	Цвет серовато-матовый, липкий, запах осаливания	1,2	0,18	Цвет белый, не имеет запаха осаливания или прогоркания, консистенция слегка мягковатая, эластичная	5,0	0,75	Цвет сероватый, не имеет запаха осаливания или прогоркания, консистенция рыхлая	4,4	0,66	Цвет сероватый, не имеет запаха осаливания или прогоркания, консистенция рыхлая	4,0	0,60
Состояние сухожилий	Сухожилия рыхлые, поверхность суставов матовая, коричневатого цвета	1,7	0,17	Сухожилия упругие, плотные, поверхность суставов гладкая, блестящая, светло-розового цвета	5,0	0,50	Сухожилия мягковатые, поверхность суставов гладкая, темно-розового цвета	4,3	0,43	Сухожилия мягковатые, поверхность суставов гладкая, темно-розового цвета	4,1	0,41
<i>Сумма баллов</i>	<i>0,93</i>			<i>4,96</i>			<i>4,43</i>			<i>4,08</i>		

ПРИЛОЖЕНИЕ Л

АМИНОКИСЛОТНЫЙ СОСТАВ БЕЛКОВ МЯСНОГО СЫРЬЯ

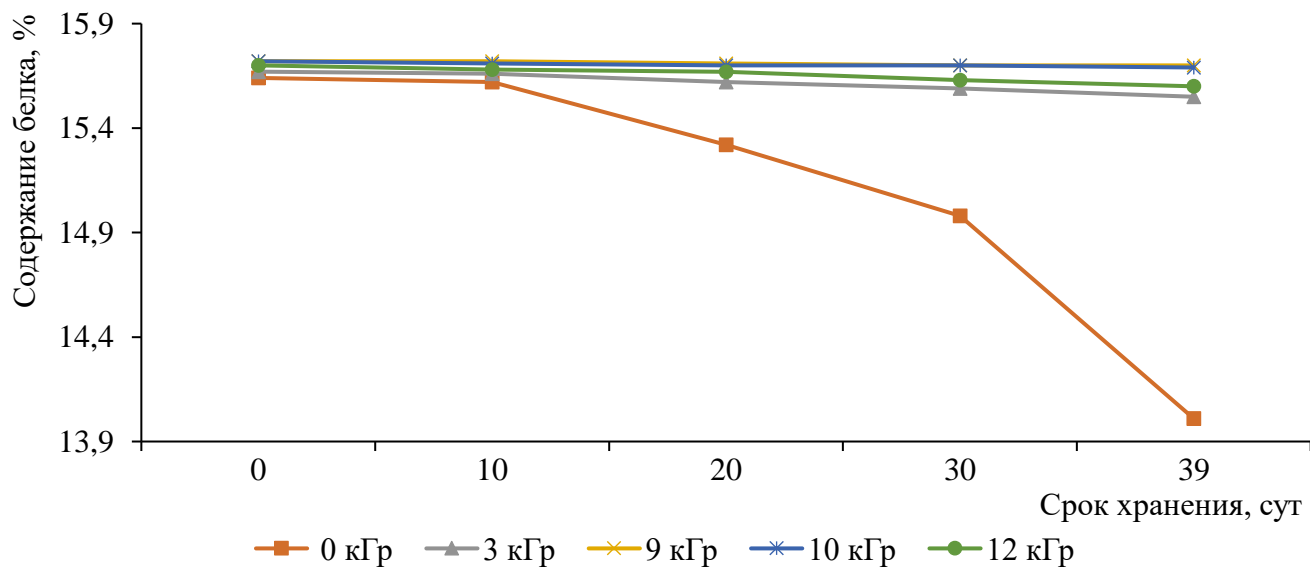


Рисунок Л.1 – Содержание белка в необработанных и обработанных разными дозами ионизирующего излучения образцах свинины охлажденной в процессе хранения, %

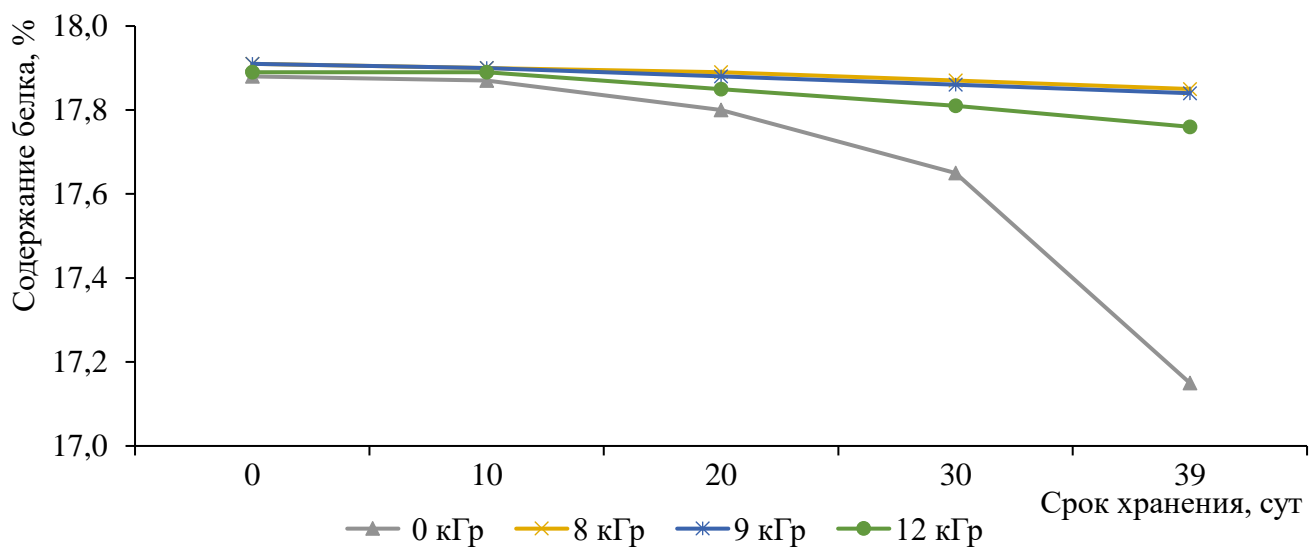


Рисунок Л.2 – Содержание белка в необработанных и обработанных разными дозами ионизирующего излучения образцах шейки свиной охлажденной, упакованной с применением МГС, в процессе хранения, %

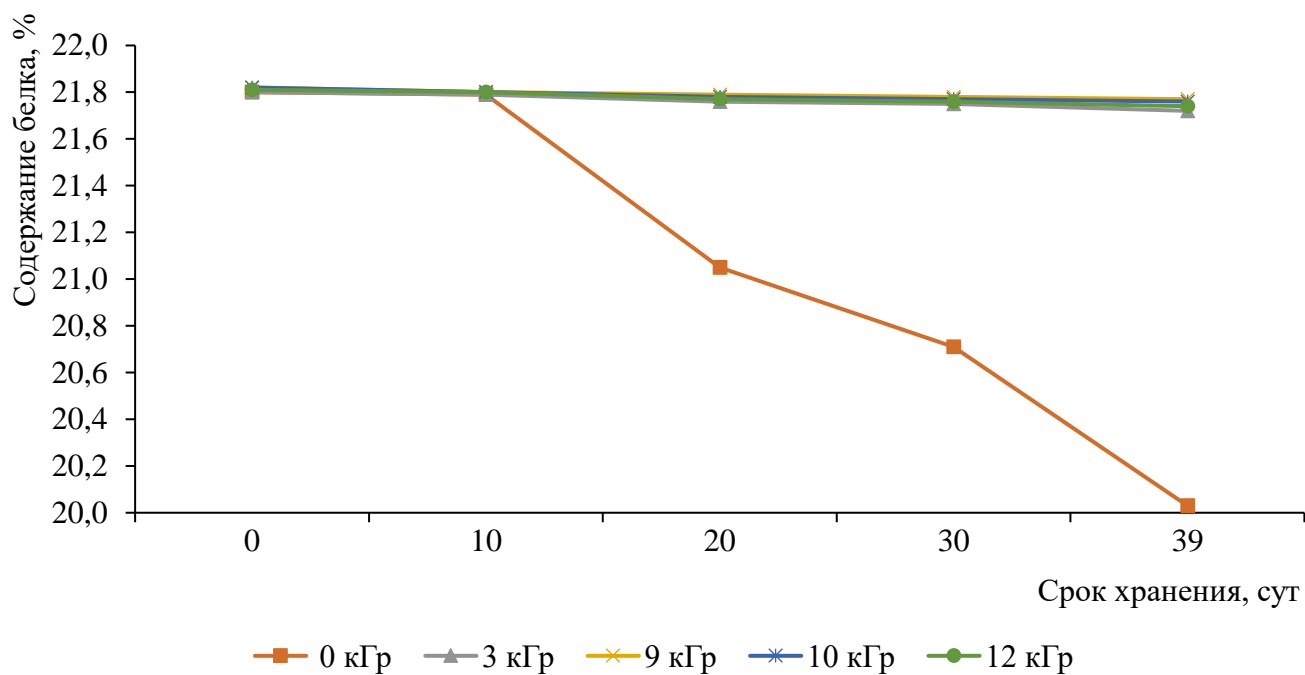


Рисунок Л.3 – Содержание белка в необработанных и обработанных разными дозами ионизирующего излучения образцах мяса косули охлажденной в процессе хранения, %

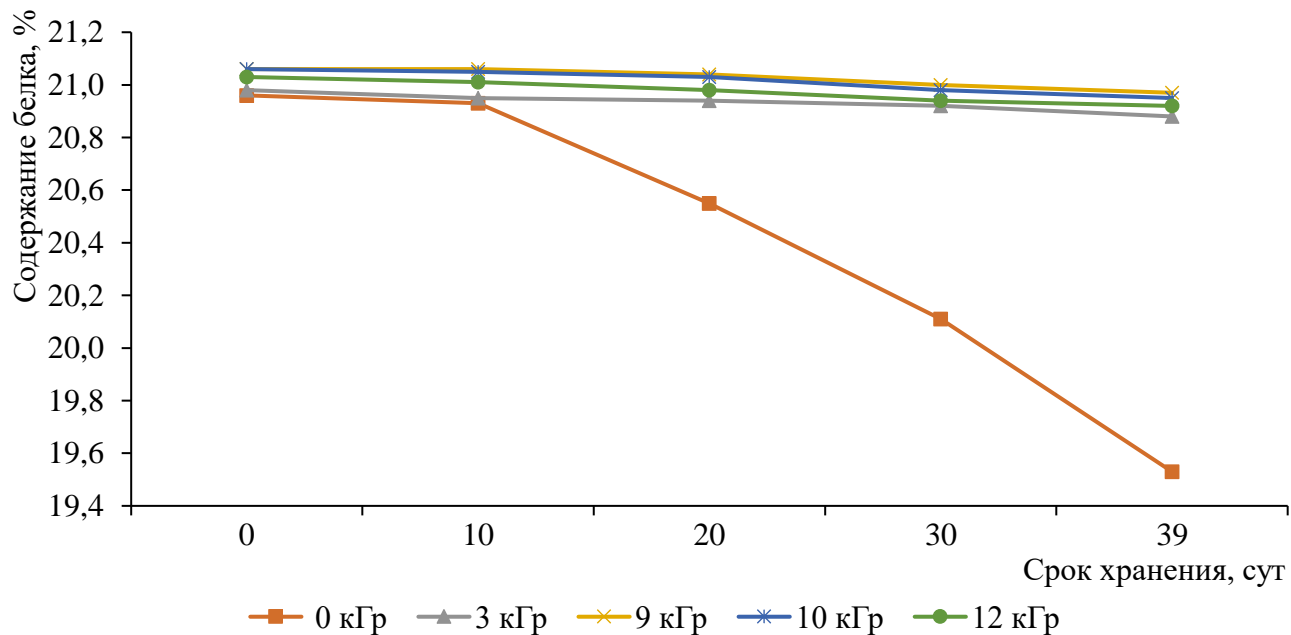


Рисунок Л.4 – Содержание белка в необработанных и обработанных разными дозами ионизирующего излучения образцах мяса птицы охлажденной в процессе хранения, %

Таблица Л.1 – Аминокислотный состав белков говядины до и после обработки ионизирующим излучением, мг/100 г продукта

Аминокислота	Доза облучения, кГр				
	0	3	9	10	12
Незаменимые аминокислоты	7 892,12 ± 5,18	7 849,41 ± 4,93	7 818,86 ± 4,08	7 799,98 ± 3,73	7 766,16 ± 4,39
Валин	1 133,45 ± 0,73	1 128,00 ± 0,78	1 127,90 ± 0,81	1 123,85 ± 0,73	1 120,06 ± 0,81
Изолейцин	869,54 ± 0,93	866,84 ± 1,01	865,79 ± 0,84	863,84 ± 0,78	862,52 ± 0,66
Лейцин	1 699,93 ± 1,90	1 690,50 ± 1,61	1 686,87 ± 1,33	1 682,50 ± 1,79	1 671,42 ± 1,88
Лизин	1 662,54 ± 1,37	1 658,48 ± 1,34	1 646,65 ± 1,73	1 644,88 ± 1,32	1 637,49 ± 1,71
Метионин	553,85 ± 0,41	550,52 ± 0,32	549,32 ± 0,40	548,92 ± 0,31	547,76 ± 0,33
Треонин	875,82 ± 0,71	871,89 ± 0,69	868,81 ± 0,73	866,75 ± 0,68	865,68 ± 0,71
Триптофан	268,24 ± 0,11	264,96 ± 0,23	263,96 ± 0,15	262,02 ± 0,18	260,89 ± 0,21
Фенилаланин	828,75 ± 0,73	818,22 ± 0,64	809,56 ± 0,34	807,22 ± 0,59	800,33 ± 0,39
Заменимые аминокислоты	11 958,08 ± 8,12	11 889,94 ± 7,63	11 801,33 ± 6,78	11 758,40 ± 6,12	11 703,22 ± 7,84
Аланин	1 173,01 ± 1,04	1 161,74 ± 1,01	1 152,26 ± 1,12	1 146,74 ± 1,08	1 139,06 ± 1,12
Аргинин	1 085,77 ± 0,63	1 077,54 ± 0,79	1 063,39 ± 0,62	1 053,54 ± 0,66	1 039,10 ± 0,73
Аспарагиновая кислота	1 911,23 ± 2,21	1 911,94 ± 2,09	1 900,59 ± 2,01	1 896,94 ± 1,83	1 885,14 ± 1,12
Гистидин	795,72 ± 0,81	775,33 ± 0,66	760,32 ± 0,51	759,33 ± 0,63	753,83 ± 0,44
Глицин	1 003,75 ± 0,96	997,32 ± 0,89	987,31 ± 0,62	985,32 ± 0,66	983,10 ± 0,51
Глутаминовая кислота	3 333,71 ± 2,64	3 320,26 ± 2,99	3 303,20 ± 2,92	3 293,26 ± 2,88	3 288,28 ± 2,77
Оксипролин	46,39 ± 0,03	45,80 ± 0,03	45,51 ± 0,03	45,06 ± 0,02	44,82 ± 0,03
Пролин	856,86 ± 0,75	854,30 ± 0,84	853,65 ± 0,45	852,81 ± 0,61	851,37 ± 0,55
Серин	861,71 ± 0,77	859,12 ± 0,67	856,96 ± 0,68	855,12 ± 0,54	853,14 ± 0,71
Тирозин	687,31 ± 0,52	685,03 ± 0,72	678,05 ± 0,59	672,03 ± 0,55	667,78 ± 0,56
Цистин	202,62 ± 0,17	201,56 ± 0,18	200,09 ± 0,11	198,25 ± 0,15	197,59 ± 0,15
Общее количество аминокислот	19 850,20 ± 14,01	19 739,35 ± 13,12	19 620,19 ± 11,92	19 558,38 ± 10,59	19 469,27 ± 11,80

Таблица Л.2 – Аминокислотный состав белков свинины до и после обработки ионизирующим излучением, мг/100 г продукта

Наименование аминокислоты	Доза облучения, кГр				
	0	3	9	10	12
Незаменимые аминокислоты	6 330,89 ± 4,35	6 305,08 ± 4,37	6 247,99 ± 4,12	6 228,32 ± 3,66	6 170,09 ± 3,89
Валин	949,79 ± 0,65	946,15 ± 0,64	937,75 ± 0,63	934,25 ± 0,67	925,17 ± 0,66
Изолейцин	801,40 ± 0,90	798,80 ± 0,93	793,68 ± 0,77	789,73 ± 0,63	773,21 ± 0,58
Лейцин	1 173,33 ± 1,59	1 170,63 ± 1,64	1 160,40 ± 1,47	1 158,44 ± 1,58	1 156,29 ± 1,83
Лизин	1 303,86 ± 1,12	1 293,61 ± 1,18	1 283,39 ± 1,13	1 279,17 ± 1,12	1 274,62 ± 1,11
Метионин	357,84 ± 0,35	357,37 ± 0,30	355,26 ± 0,37	354,69 ± 0,36	354,53 ± 0,32
Треонин	778,40 ± 0,65	776,82 ± 0,63	764,95 ± 0,68	761,81 ± 0,59	751,78 ± 0,63
Триптофан	294,65 ± 0,10	291,89 ± 0,18	288,67 ± 0,16	287,87 ± 0,16	282,48 ± 0,18
Фенилаланин	671,62 ± 0,62	669,81 ± 0,58	663,89 ± 0,39	662,36 ± 0,43	652,02 ± 0,41
Заменимые аминокислоты	8 936,42 ± 7,37	8 888,63 ± 7,21	8 767,99 ± 6,99	8 731,49 ± 6,08	8 674,16 ± 7,13
Аланин	835,68 ± 0,99	832,94 ± 0,93	827,02 ± 1,01	822,23 ± 0,96	818,96 ± 1,04
Аргинин	959,61 ± 0,57	952,01 ± 0,59	948,29 ± 0,52	941,18 ± 0,56	324,09 ± 0,63
Аспарагиновая кислота	1 386,17 ± 2,18	1 381,09 ± 2,03	1 372,05 ± 1,99	1 368,20 ± 1,95	1 345,78 ± 1,37
Гистидин	637,40 ± 0,75	631,88 ± 0,73	607,66 ± 0,54	604,24 ± 0,57	601,19 ± 0,43
Глицин	806,58 ± 0,85	799,77 ± 0,79	775,78 ± 0,64	773,21 ± 0,61	771,91 ± 0,50
Глутаминовая кислота	2 278,46 ± 2,37	2 276,62 ± 2,68	2 261,36 ± 2,69	2 252,39 ± 2,78	2 238,50 ± 2,56
Оксипролин	50,97 ± 0,02	50,09 ± 0,03	48,81 ± 0,02	48,62 ± 0,02	48,54 ± 0,03
Пролин	634,23 ± 0,63	627,22 ± 0,72	621,78 ± 0,42	619,22 ± 0,59	615,73 ± 0,53
Серин	612,38 ± 0,48	608,66 ± 0,56	590,82 ± 0,61	589,60 ± 0,52	587,88 ± 0,67
Тирозин	529,87 ± 0,47	523,51 ± 0,52	510,68 ± 0,53	509,17 ± 0,55	508,75 ± 0,54
Цистин	205,06 ± 0,16	204,84 ± 0,12	203,73 ± 0,11	203,43 ± 0,12	202,84 ± 0,15
Общее количество аминокислот	15 267,31 ± 13,75	15 193,71 ± 13,03	15 015,98 ± 11,14	14 959,85 ± 10,47	14 844,26 ± 11,35

Таблица Л.3 – Аминокислотный состав белков шейки свиной, упакованной с применением МГС, до и после обработки ионизирующим излучением, мг/100 г продукта

Наименование аминокислоты	Доза облучения, кГр		
	0	8	12
Незаменимые аминокислоты	7 280,27 ± 4,11	7 208,48 ± 3,82	7 080,16 ± 3,63
Валин	1 015,71 ± 0,69	1 006,03 ± 0,62	986,18 ± 0,65
Изолейцин	906,52 ± 0,83	893,66 ± 0,79	879,51 ± 0,63
Лейцин	1 387,81 ± 1,32	1 378,35 ± 1,38	1 347,17 ± 1,29
Лизин	1 566,38 ± 1,23	1 554,99 ± 1,09	1 529,49 ± 1,21
Метионин	469,37 ± 0,28	464,22 ± 0,31	458,24 ± 0,26
Треонин	836,54 ± 0,26	829,97 ± 0,37	819,85 ± 0,43
Триптофан	298,32 ± 0,11	296,19 ± 0,09	291,04 ± 0,11
Фенилаланин	799,62 ± 0,31	789,07 ± 0,31	768,68 ± 0,37
Заменимые аминокислоты	10 109,08 ± 7,21	9 917,07 ± 6,87	9 745,18 ± 7,34
Аланин	1 089,22 ± 0,93	1 062,61 ± 1,00	1 036,98 ± 1,02
Аргинин	1 099,29 ± 0,63	1 069,23 ± 0,67	1 043,24 ± 0,59
Аспарагиновая кислота	1 412,39 ± 2,16	1 396,58 ± 1,99	1 360,34 ± 1,36
Гистидин	833,39 ± 0,72	811,19 ± 0,59	798,60 ± 0,53
Глицин	891,23 ± 0,77	864,90 ± 0,73	859,87 ± 0,62
Глутаминовая кислота	2 602,62 ± 2,16	2 561,70 ± 2,61	2 521,43 ± 2,58
Оксипролин	45,35 ± 0,02	44,4 8 ± 0,02	43,93 ± 0,02
Пролин	634,78 ± 0,62	629,30 ± 0,39	623,48 ± 0,42
Серин	659,52 ± 0,47	649,94 ± 0,52	638,13 ± 0,63
Тирозин	634,64 ± 0,43	624,99 ± 0,43	619,70 ± 0,44
Цистин	206,65 ± 0,17	202,15 ± 0,16	199,48 ± 0,11
Общее количество аминокислот	17 389,36 ± 12,11	17 125,55 ± 10,07	16 825,35 ± 11,03

Таблица Л.4 – Аминокислотный состав белков мяса косули до и после обработки ионизирующим излучением, мг/100 г продукта

Наименование аминокислоты	Доза облучения, кГр				
	0	3	9	10	12
Незаменимые аминокислоты	9660,67 ± 5,43	9 628,97 ± 4,35	9 569,48 ± 4,16	9 549,63 ± 4,01	9 368,45 ± 3,66
Валин	1 528,10 ± 0,66	1 518,24 ± 0,71	1 509,18 ± 0,741	1 505,85 ± 0,69	1 485,11 ± 0,53
Изолейцин	1 163,51 ± 1,12	1 159,08 ± 1,13	1 148,32 ± 0,96	1 144,35 ± 0,72	1 119,09 ± 0,69
Лейцин	2 329,97 ± 1,12	2 328,86 ± 1,33	2 309,69 ± 1,28	2 307,61 ± 1,36	2 263,84 ± 1,78
Лизин	1 882,80 ± 1,0 7	1 879,05 ± 1,31	1 869,33 ± 1,34	1 866,93 ± 1,21	1 819,65 ± 1,62
Метионин	599,33 ± 0,26	596,84 ± 0,37	594,14 ± 0,34	591,88 ± 0,28	581,99 ± 0,31
Треонин	939,50 ± 0,36	935,92 ± 0,39	932,47 ± 0,27	931,47 ± 0,61	915,17 ± 0,62
Триптофан	288,65 ± 0,16	287,96 ± 0,21	286,89 ± 0,19	285,96 ± 0,17	282,24 ± 0,20
Фенилаланин	928,81 ± 0,72	923,02 ± 0,68	919,46 ± 0,44	915,58 ± 0,38	901,36 ± 0,22
Заменимые аминокислоты	11 975,48 ± 7,35	11 921,29 ± 8,06	11 846,51 ± 5,79	11 802,50 ± 6,67	11 658,65 ± 6,32
Аланин	1 224,85 ± 1,01	1 204,87 ± 0,99	1 199,69 ± 1,01	1 194,23 ± 1,02	1 171,62 ± 1,08
Аргинин	1 125,63 ± 0,57	1 117,36 ± 0,64	1 099,41 ± 0,39	1 088,79 ± 0,51	1 071,93 ± 0,49
Аспарагиновая кислота	2 283,85 ± 2,14	2 280,06 ± 1,88	2 273,58 ± 1,77	2 269,63 ± 2,13	2 251,05 ± 1,64
Гистидин	739,41 ± 0,68	730,38 ± 0,64	717,43 ± 0,59	713,24 ± 0,47	709,70 ± 0,58
Глицин	659,55 ± 0,81	656,83 ± 0,93	650,99 ± 0,77	646,02 ± 0,33	639,55 ± 0,54
Глутаминовая кислота	2 960,57 ± 2,37	2 957,21 ± 2,86	2 946,55 ± 2,54	2 939,43 ± 2,37	2 905,22 ± 2,61
Оксипролин	50,62 ± 0,02	50,31 ± 0,03	49,99 ± 0,02	49,21 ± 0,02	49,19 ± 0,02
Пролин	871,89 ± 0,35	869,54 ± 0,66	867,28 ± 0,38	865,75 ± 0,53	856,23 ± 0,50
Серин	978,23 ± 0,72	976,01 ± 0,47	969,32 ± 0,32	966,49 ± 0,47	945,30 ± 0,62
Тирозин	830,22 ± 0,36	828,81 ± 0,51	823,91 ± 0,52	822,28 ± 0,61	818,60 ± 0,48
Цистин	250,65 ± 0,09	249,91 ± 0,11	248,36 ± 0,13	247,43 ± 0,09	246,25 ± 0,11
Общее количество аминокислот	21 636,15 ± 14,81	21 550,26 ± 14,13	21 415,99 ± 12,02	21 352,13 ± 11,36	21 027,09 ± 10,81

Таблица Л.5 – Аминокислотный состав белков мяса птицы до и после обработки ионизирующим излучением, мг/100 г продукта

Наименование аминокислоты	Доза облучения, кГр				
	0	3	9	10	12
Незаменимые аминокислоты	8158,36 ± 5,35	8 142,02 ± 5,01	8 124,60 ± 4,23	7 992,60 ± 5,03	7 867,07 ± 4,35
Валин	1 019,21 ± 0,85	1 017,22 ± 0,93	1 014,36 ± 0,99	998,41 ± 0,87	984,47 ± 0,95
Изолейцин	1 052,75 ± 1,01	1 050,25 ± 1,12	1 048,56 ± 1,03	1 028,99 ± 0,95	1 003,34 ± 0,96
Лейцин	1 692,08 ± 1,96	1 688,03 ± 1,83	1 683,03 ± 1,96	1 653,34 ± 2,01	1 629,17 ± 2,03
Лизин	1 794,19 ± 2,03	1 791,84 ± 1,85	1 790,23 ± 1,89	1 768,79 ± 1,63	1 745,21 ± 1,89
Метионин	576,89 ± 0,45	574,24 ± 0,39	571,23 ± 0,45	559,61 ± 0,39	551,19 ± 0,48
Треонин	861,87 ± 0,75	859,53 ± 0,79	858,89 ± 0,81	846,46 ± 0,78	831,36 ± 0,84
Триптофан	330,03 ± 0,28	329,99 ± 0,27	329,40 ± 0,25	325,93 ± 0,29	324,39 ± 0,28
Фенилаланин	831,33 ± 0,81	830,92 ± 0,75	828,89 ± 0,74	811,07 ± 0,73	797,92 ± 0,69
Заменимые аминокислоты	11 626,00 ± 8,34	11 568,30 ± 8,79	11 547,57 ± 7,79	11 414,88 ± 8,32	11 301,54 ± 8,48
Аланин	1 261,23 ± 1,11	1 248,38 ± 1,19	1 238,56 ± 1,22	1 229,64 ± 1,13	1 221,30 ± 1,23
Аргинин	1 140,79 ± 0,88	1 131,04 ± 0,93	1 130,28 ± 0,94	1 115,96 ± 0,89	1 109,63 ± 0,86
Аспарагиновая кислота	1 916,35 ± 2,22	1 913,55 ± 2,13	1 912,41 ± 2,09	1 900,87 ± 2,13	1 891,98 ± 1,39
Гистидин	429,20 ± 0,33	425,97 ± 0,28	423,52 ± 0,31	403,53 ± 0,33	398,54 ± 0,34
Глицин	996,77 ± 0,87	990,41 ± 0,81	990,06 ± 0,78	979,88 ± 0,75	966,07 ± 0,68
Глутаминовая кислота	3 183,04 ± 2,99	3 173,53 ± 3,02	3 172,56 ± 2,89	3 152,31 ± 2,75	3 103,82 ± 2,88
Оксипролин	45,73 ± 0,03	45,53 ± 0,03	45,42 ± 0,04	45,10 ± 0,03	44,97 ± 0,03
Пролин	846,84 ± 0,85	844,98 ± 0,74	844,77 ± 0,75	835,96 ± 0,79	831,93 ± 0,69
Серин	874,52 ± 0,93	869,03 ± 0,87	866,24 ± 0,88	847,06 ± 0,89	842,12 ± 0,93
Тирозин	729,00 ± 0,65	724,81 ± 0,71	722,22 ± 0,69	706,67 ± 0,75	695,23 ± 0,69
Цистин	202,53 ± 0,18	201,07 ± 0,18	201,52 ± 0,15	197,90 ± 0,16	195,94 ± 0,18
Общее количество аминокислот	19 784,36 ± 14,22	19 710,33 ± 13,88	19 672,17 ± 13,95	19 407,48 ± 13,53	19 168,61 ± 12,89

ПРИЛОЖЕНИЕ М

ПОКАЗАТЕЛИ БЕЗОПАСНОСТИ МЯСНОГО СЫРЬЯ

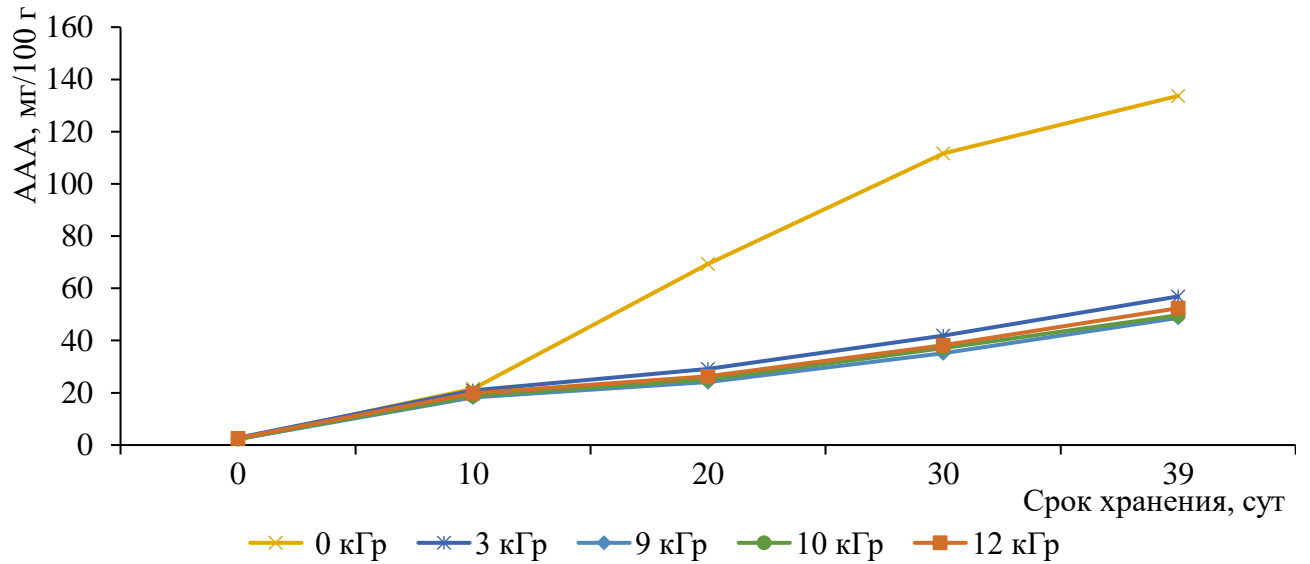


Рисунок М.1 – Содержание ААА в свинине охлажденной в процессе хранения, мг/100 г

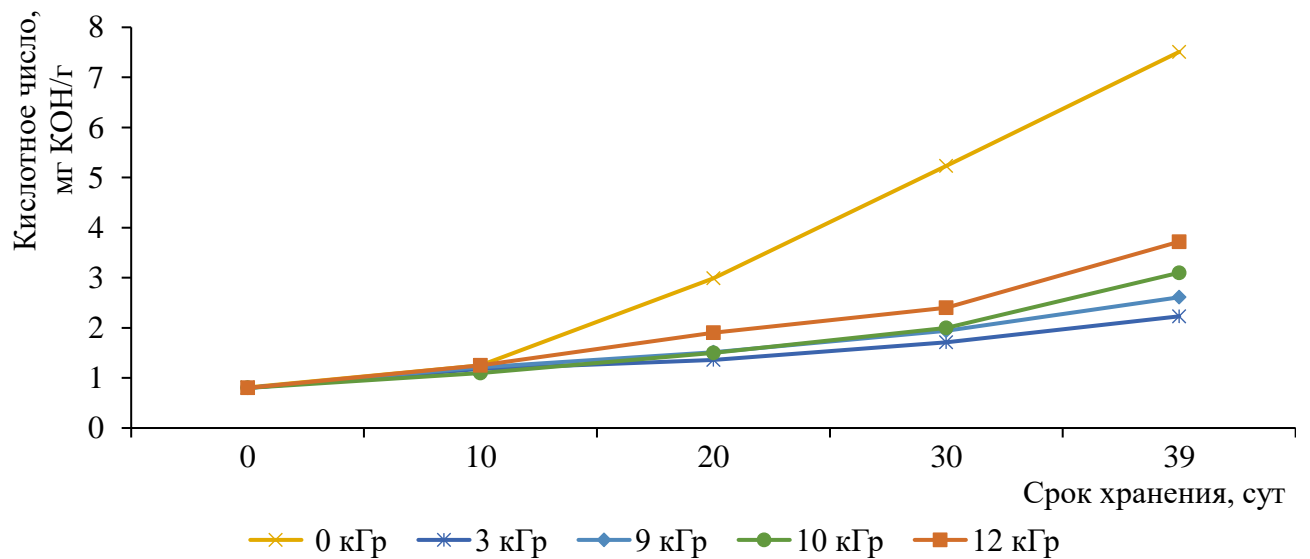


Рисунок М.2 – Динамика кислотного числа жира в процессе хранения свинины охлажденной, мг КОН/г

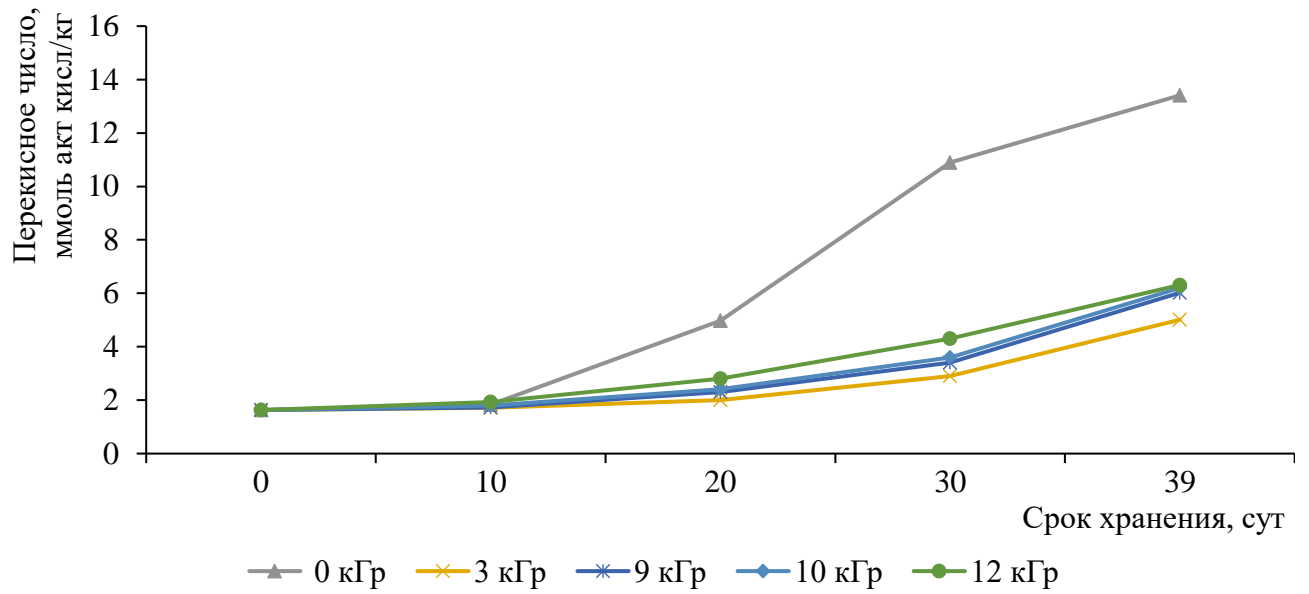


Рисунок М.3 – Динамика перекисного числа жира в процессе хранения свинины охлажденной, ммоль активного кислорода/кг жира

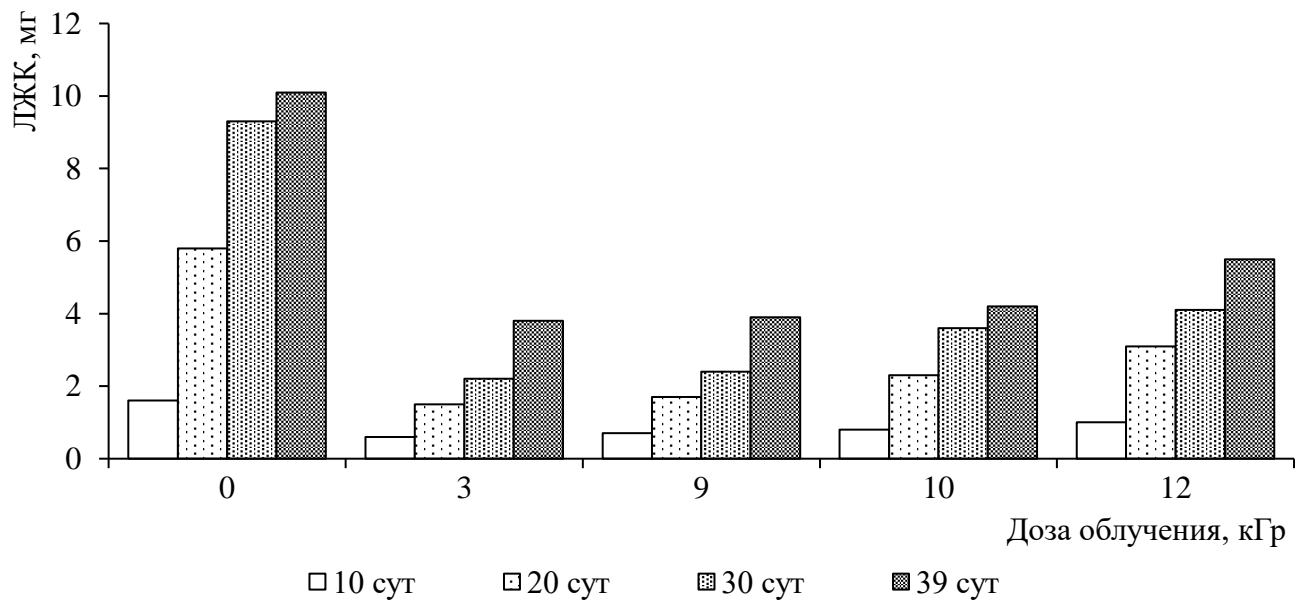


Рисунок М.4 – Динамика содержания летучих жирных кислот в образцах свинины охлажденной в процессе хранения, мг КОН на 25 г мяса

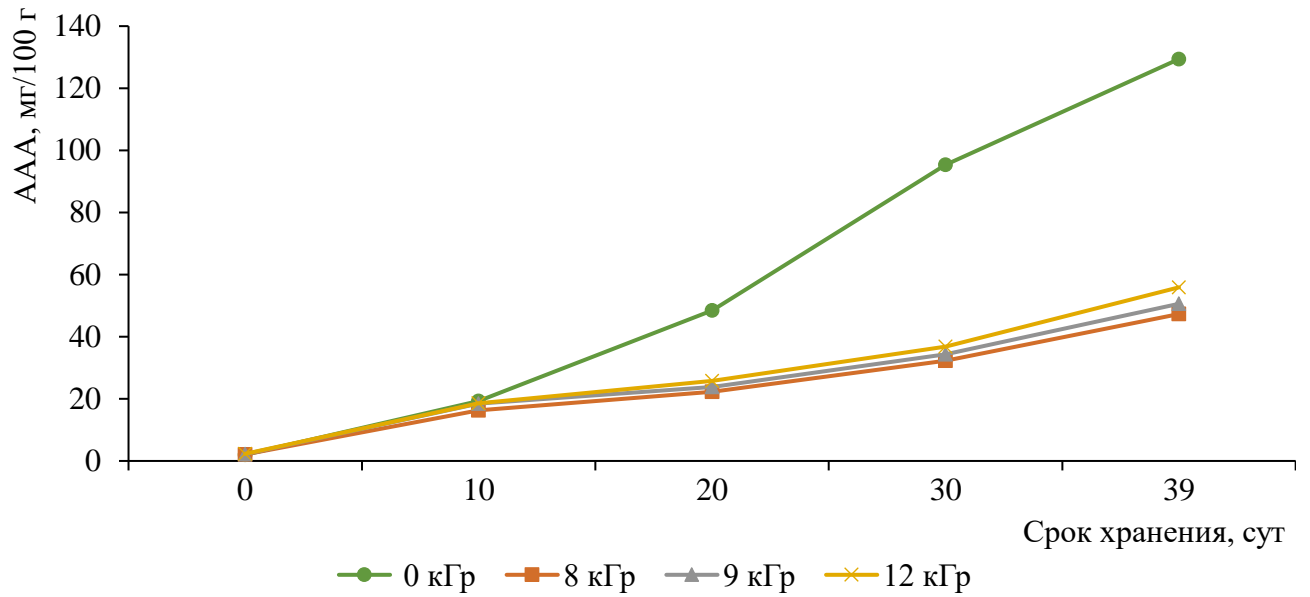


Рисунок М.5 – Содержание ААА в охлажденной шейке свиной, упакованной в МГС, в процессе хранения, мг/100 г

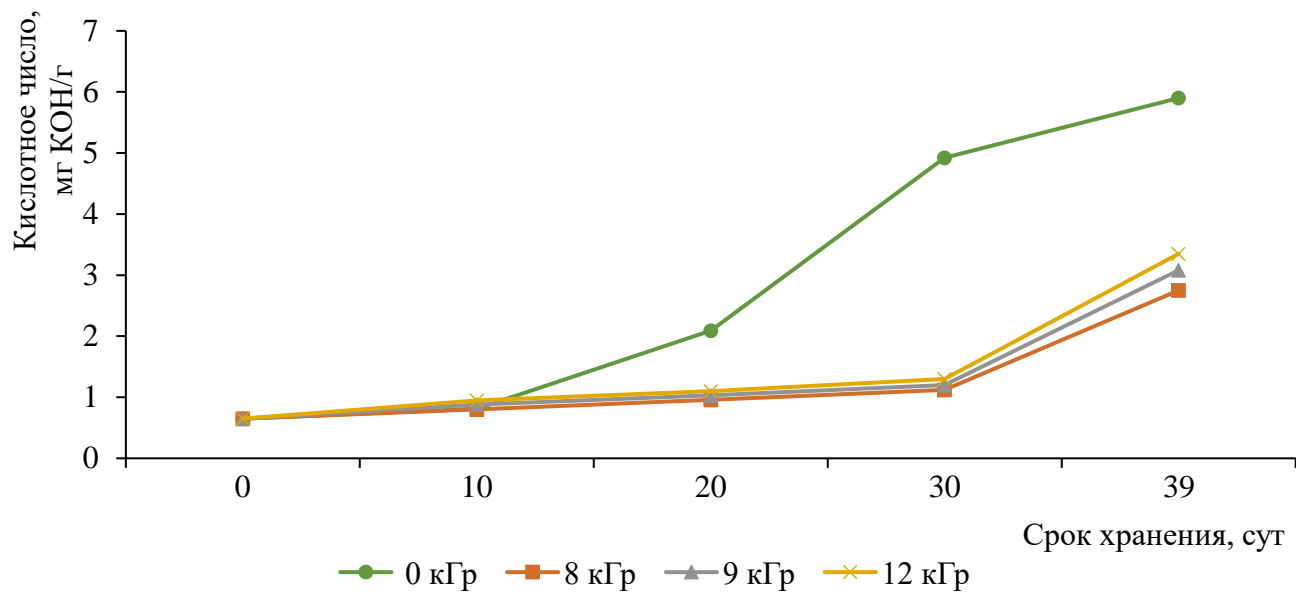


Рисунок М.6 – Динамика кислотного числа жира в процессе хранения охлажденной шейки свиной, упакованной с применением МГС, мг КОН/г

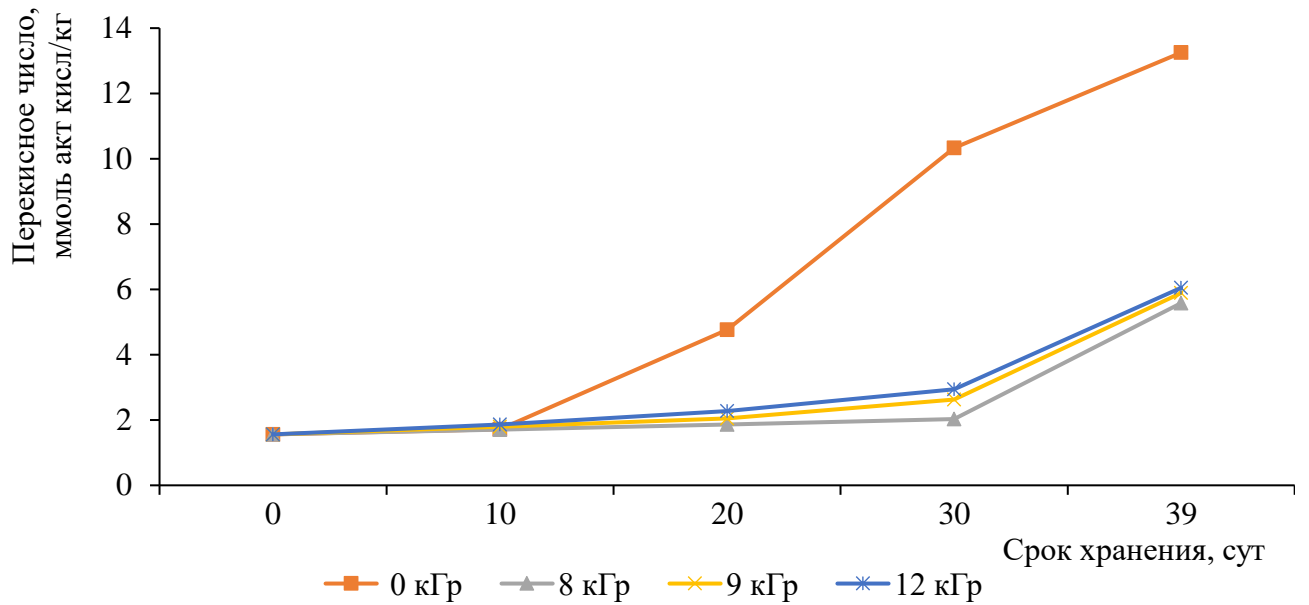


Рисунок М.7 – Динамика перекисного числа жира в процессе хранения охлажденной шейки свиной, упакованной с применением МГС, ммоль активного кислорода/кг жира

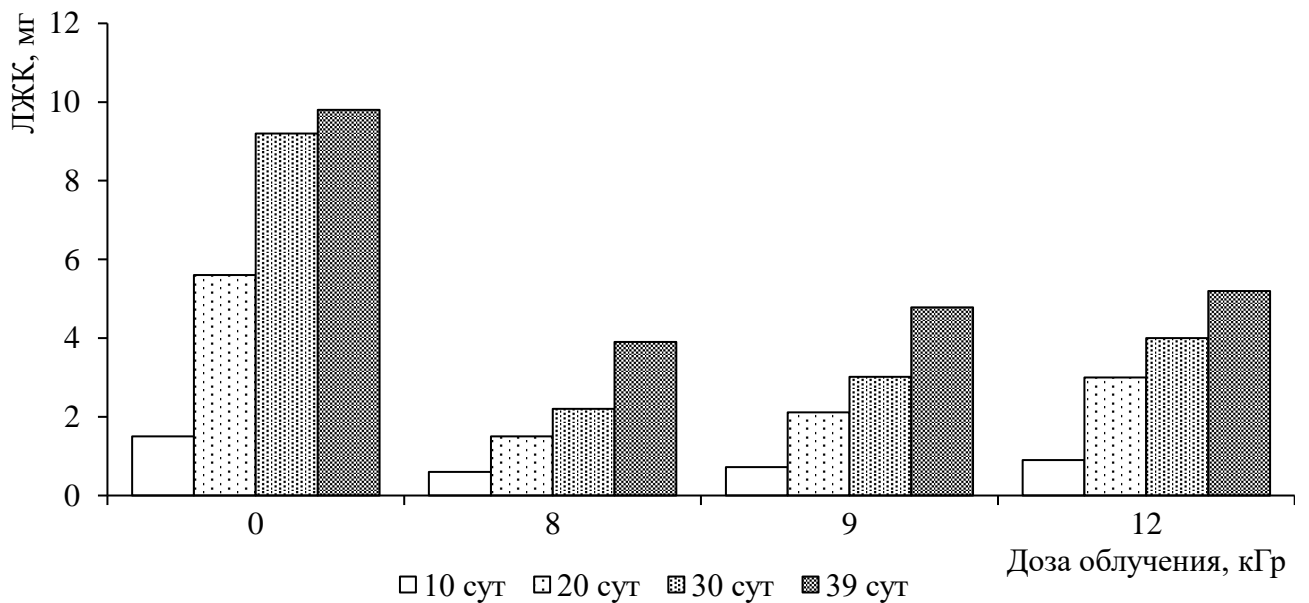


Рисунок М.8 – Динамика содержания летучих жирных кислот в образцах охлажденной шейки свиной, упакованных с применением МГС, в процессе хранения, мг КОН на 25 г мяса

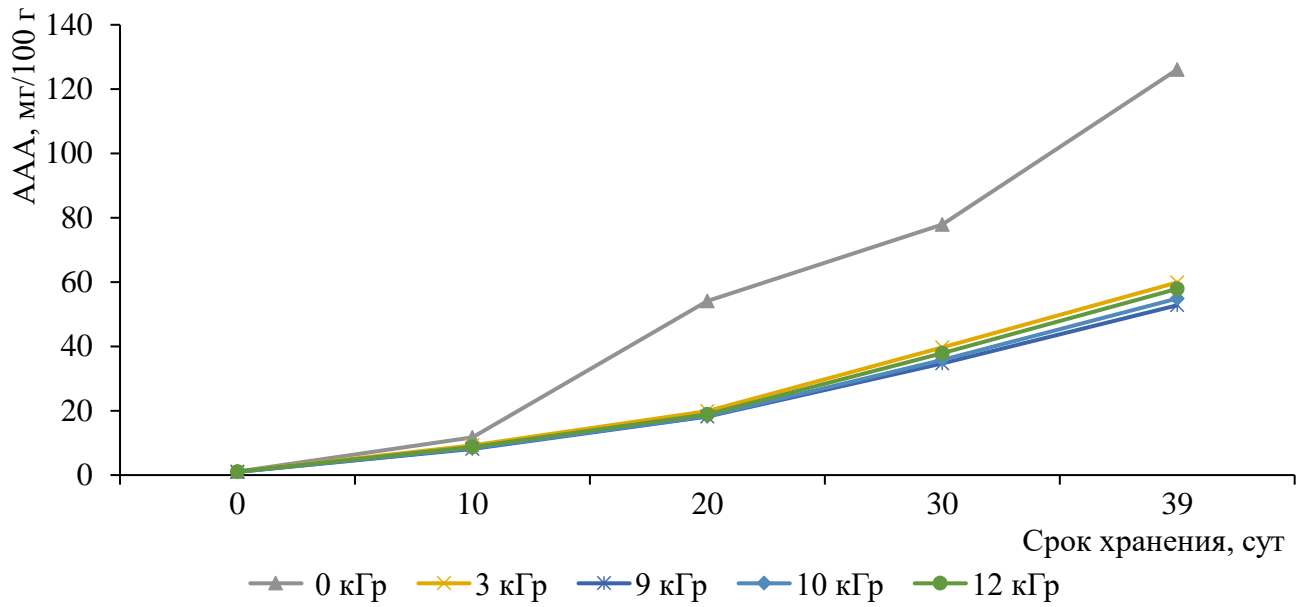


Рисунок М.9 – Содержание ААА в мясе косули охлажденной в процессе хранения, мг/100 г

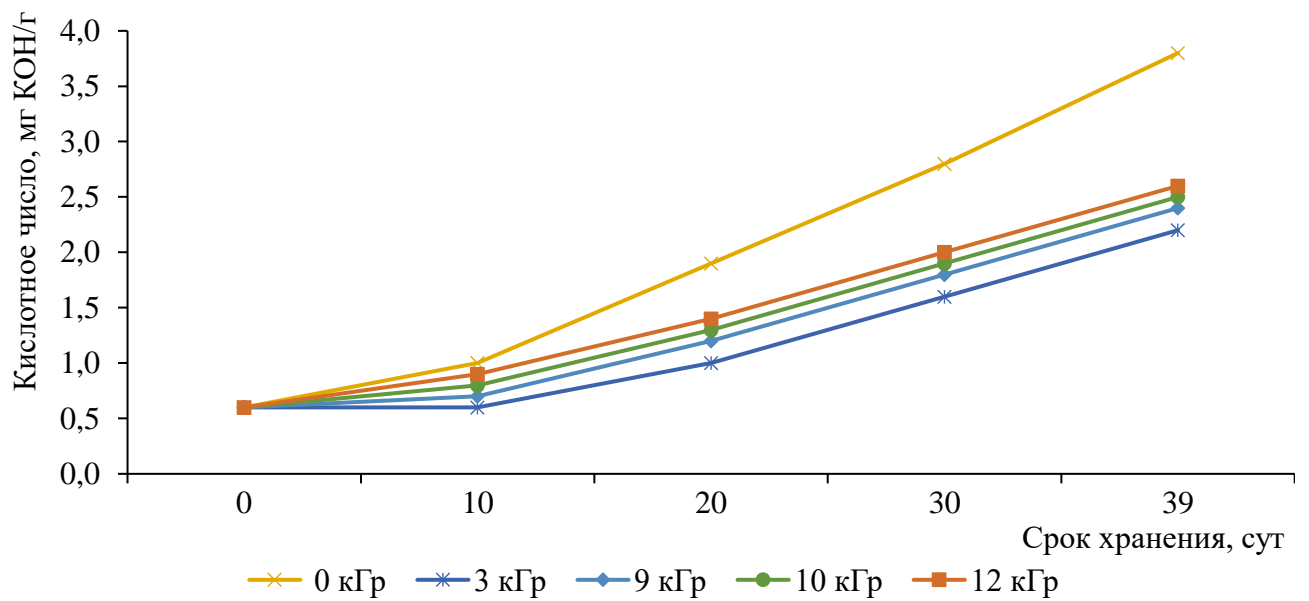


Рисунок М.10 – Динамика кислотного числа жира в процессе хранения мяса косули охлажденной, мг КОН/г

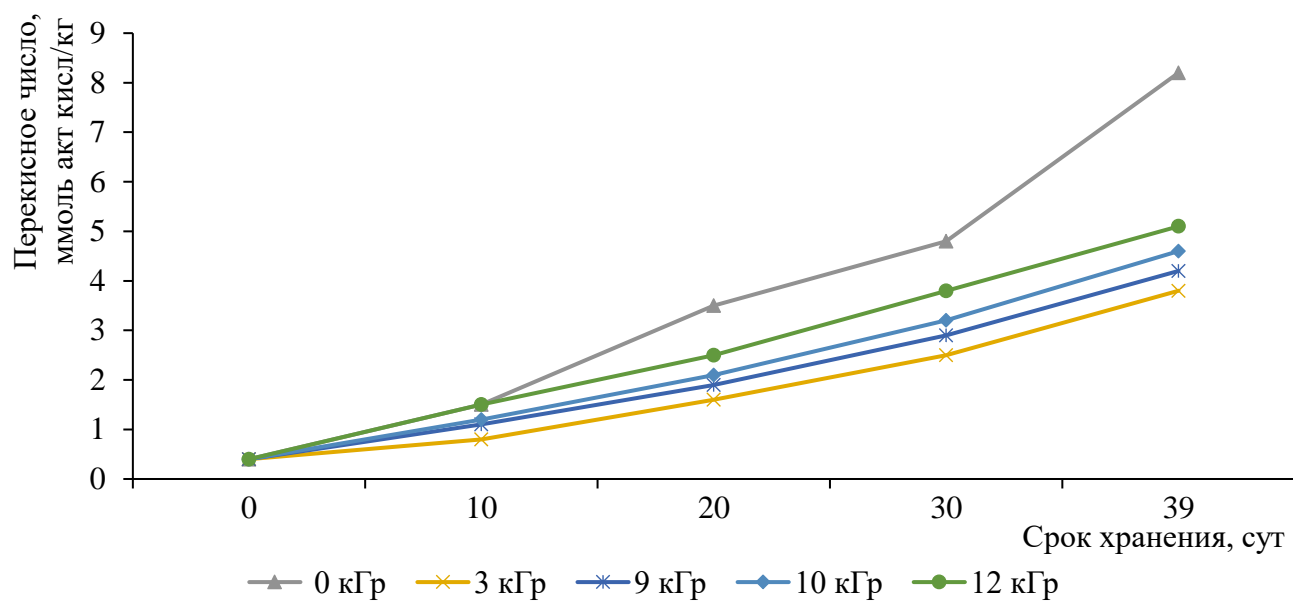


Рисунок М.11 – Динамика перекисного числа жира в процессе хранения косули охлажденной, ммоль активного кислорода/кг жира

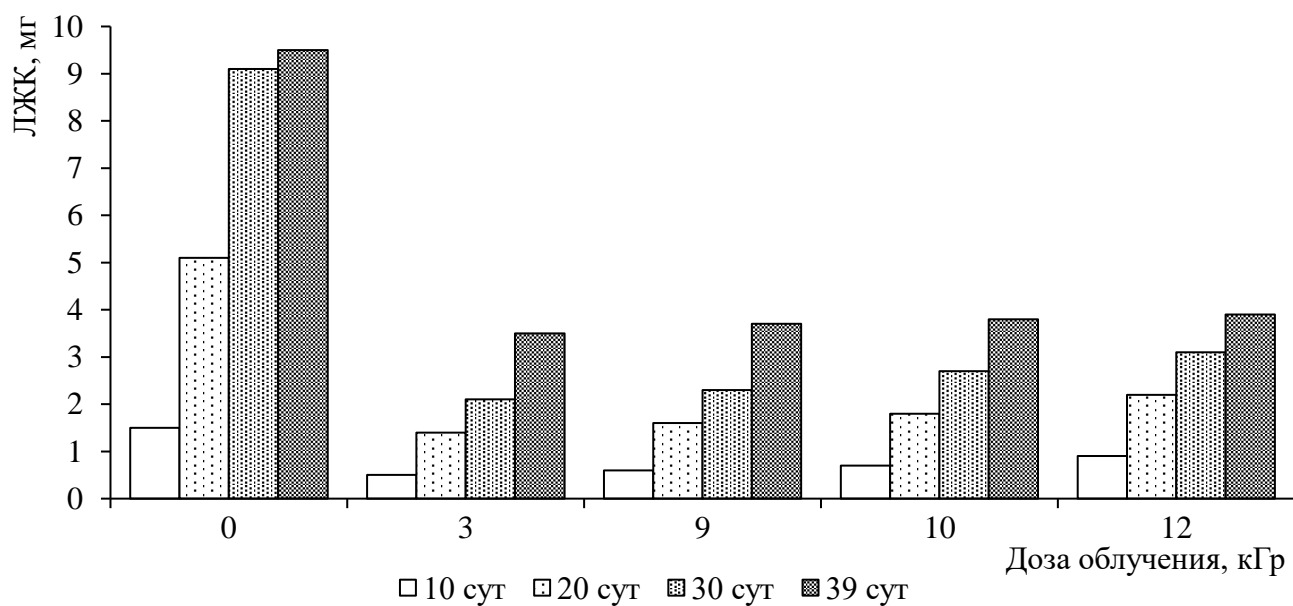


Рисунок М.12 – Динамика содержания летучих жирных кислот в образцах охлажденного мяса косули в процессе хранения, мг КОН на 25 г мяса

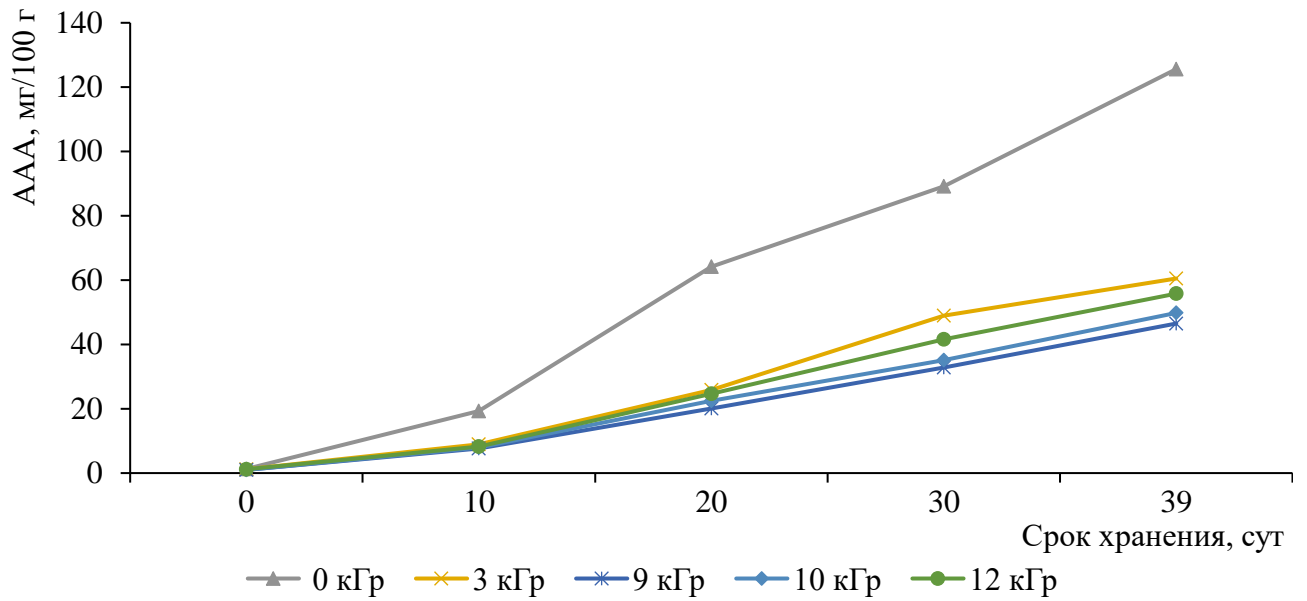


Рисунок М.13 – Содержание ААА в мясе птицы охлажденной в процессе хранения, мг/100 г

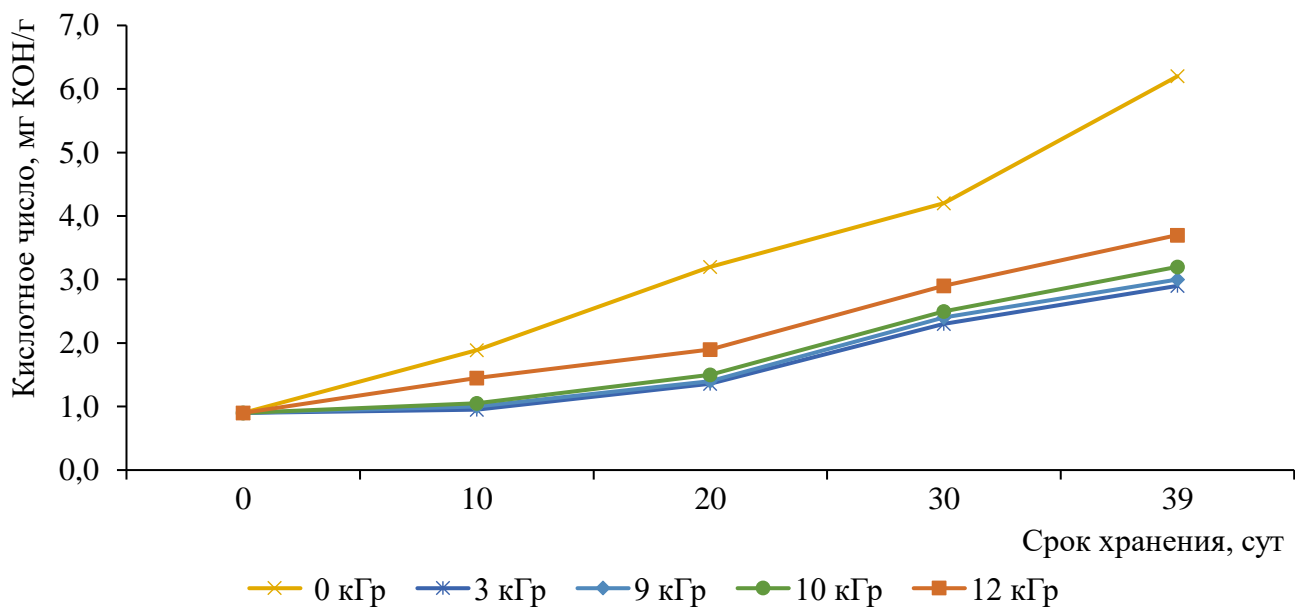


Рисунок М.14 – Динамика кислотного числа жира в процессе хранения птицы охлажденной, мг КОН/г

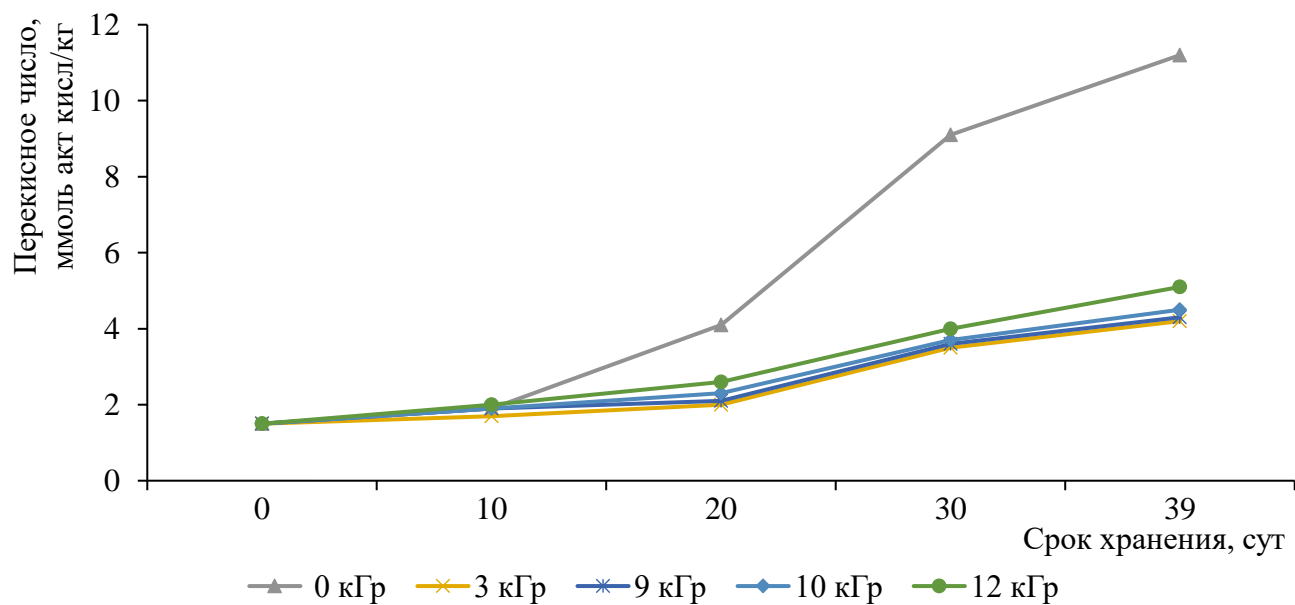


Рисунок М.15 – Динамика перекисного числа жира в процессе хранения мяса птицы охлажденной, ммоль активного кислорода/кг жира

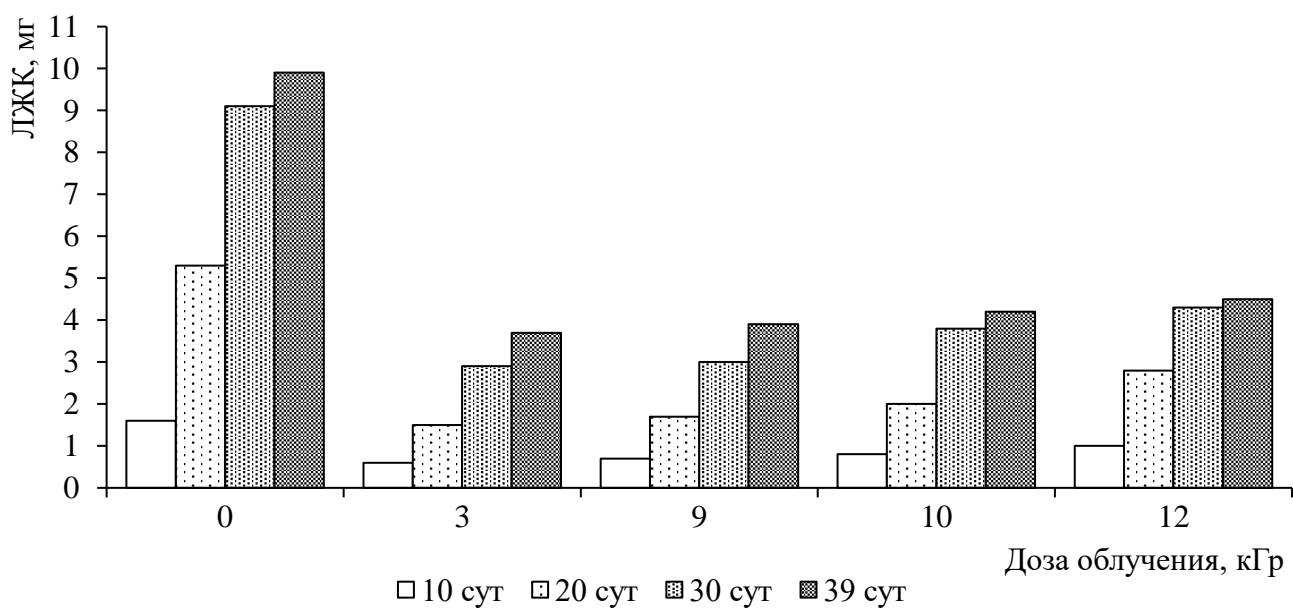


Рисунок М.16 – Динамика содержания летучих жирных кислот в образцах мяса птицы охлажденной в процессе хранения, мг КОН на 25 г мяса

Таблица М.1 – Содержание токсичных элементов в мясном сырье до и после обработки ионизирующим излучением

Доза облучения, кГр	Свинец	Мышьяк	Кадмий	Ртуть
	Допустимый уровень по ТР ТС 021/2011, мг/кг, не более			
	0,5	0,1	0,05	0,03
Говядина				
0	0,11	Не обнаружен	Не обнаружен	Не обнаружена
3	0,11	Не обнаружен	Не обнаружен	Не обнаружена
9	0,11	Не обнаружен	Не обнаружен	Не обнаружена
10	0,11	Не обнаружен	Не обнаружен	Не обнаружена
12	0,11	Не обнаружен	Не обнаружен	Не обнаружена
Свинина				
0	0,11	Не обнаружен	Не обнаружен	Не обнаружена
3	0,11	Не обнаружен	Не обнаружен	Не обнаружена
9	0,11	Не обнаружен	Не обнаружен	Не обнаружена
10	0,11	Не обнаружен	Не обнаружен	Не обнаружена
12	0,11	Не обнаружен	Не обнаружен	Не обнаружена
Шейка свиная				
0	0,11	Не обнаружен	Не обнаружен	Не обнаружена
8	0,11	Не обнаружен	Не обнаружен	Не обнаружена
12	0,11	Не обнаружен	Не обнаружен	Не обнаружена
Мясо косули				
0	0,11	Не обнаружен	Не обнаружен	Не обнаружена
3	0,11	Не обнаружен	Не обнаружен	Не обнаружена
9	0,11	Не обнаружен	Не обнаружен	Не обнаружена
10	0,11	Не обнаружен	Не обнаружен	Не обнаружена
12	0,11	Не обнаружен	Не обнаружен	Не обнаружена
Мясо птицы				
0	0,12	Не обнаружен	Не обнаружен	Не обнаружена
3	0,12	Не обнаружен	Не обнаружен	Не обнаружена
9	0,12	Не обнаружен	Не обнаружен	Не обнаружена
10	0,12	Не обнаружен	Не обнаружен	Не обнаружена
12	0,12	Не обнаружен	Не обнаружен	Не обнаружена

ПРИЛОЖЕНИЕ Н

МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ МЯСНОГО СЫРЬЯ

Таблица Н.1 – Микробиологические показатели образцов говядины до и после обработки ионизирующим излучением

Доза облучения, кГр	КМАФАнМ, КОЕ/г, не более	БГКП (колиформы) не допускаются в массе продукта, г	Патогенные, в том числе <i>Salmonella</i> и <i>Listeria monocytogenes</i> , не допускаются в массе продукта, г	Бактерии рода <i>Proteus</i> не допускаются в массе продукта, г				
					Допустимый уровень по ТР ТС 021/2011, ТР ТС 034/2013			
					1 · 10 ³	0,1	25	0,1
Фон (0 сут хранения)								
0	0,2 · 10 ¹	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены				
3	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены				
9	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены				
10	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены				
12	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены				
Через 10 сут хранения								
0	0,8 · 10 ²	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены				
3	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены				
9	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены				
10	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены				
12	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены				
Через 20 сут хранения								
0	7,1 · 10 ²	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены				
3	2,0 · 10 ¹	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены				
9	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены				
10	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены				
12	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены				
Через 30 сут хранения								
0	2,0 · 10 ⁴	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены				
3	3,1 · 10 ¹	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены				
9	2,1 · 10 ¹	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены				
10	1,9 · 10 ¹	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены				
12	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены				
Через 39 сут хранения								
0	6,6 · 10 ⁶	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены				
3	0,9 · 10 ²	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены				
9	0,8 · 10 ²	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены				
10	0,7 · 10 ²	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены				
12	0,6 · 10 ²	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены				

Таблица Н.2 – Микробиологические показатели образцов свинины до и после обработки ионизирующим излучением

Доза облучения, кГр	КМАФАнМ, КОЕ/г, не более	БГКП (колиформы) не допускаются в массе продукта, г	Патогенные, в том числе <i>Salmonella</i> и <i>Listeria monocytogenes</i> , не допускаются в массе продукта, г	Бактерии рода <i>Proteus</i> не допускаются в массе продукта, г				
					Допустимый уровень по ТР ТС 021/2011, ТР ТС 034/2013			
					$1 \cdot 10^3$	0,1	25	0,1
Фон (0 сут хранения)								
0	$0,3 \cdot 10^1$	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены				
3	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены				
9	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены				
10	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены				
12	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены				
Через 10 сут хранения								
0	$0,9 \cdot 10^2$	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены				
3	$0,4 \cdot 10^1$	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены				
9	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены				
10	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены				
12	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены				
Через 20 сут хранения								
0	$7,8 \cdot 10^2$	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены				
3	$2,9 \cdot 10^1$	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены				
9	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены				
10	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены				
12	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены				
Через 30 сут хранения								
0	$3,4 \cdot 10^4$	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены				
3	$5,1 \cdot 10^1$	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены				
9	$3,6 \cdot 10^1$	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены				
10	$2,2 \cdot 10^1$	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены				
12	$1,3 \cdot 10^1$	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены				
Через 39 сут хранения								
0	$7,8 \cdot 10^6$	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены				
3	$1,1 \cdot 10^2$	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены				
9	$1,0 \cdot 10^2$	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены				
10	$0,8 \cdot 10^2$	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены				
12	$0,7 \cdot 10^2$	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены				

Таблица Н.3 – Микробиологические показатели образцов шейки свиной до и после обработки ионизирующим излучением

Доза облучения, кГр	КМАФАнМ, КОЕ/г, не более	Дрожжи, КОЕ/г, не более	БГКП (колиформы) не допускаются в массе продукта, г	Патогенные, в том числе <i>Salmonella</i> и <i>Listeria monocytogenes</i> , не допускаются в массе продукта, г	Сульфит-редуцирующие клостридии не допускаются в массе продукта, г					
						Допустимый уровень по ТР ТС 021/2011, ТР ТС 034/2013				
						1·10 ⁴	1·10 ³	0,01	25	0,01
Фон (0 сут хранения)										
0	0,1·10 ¹	0,1·10 ¹	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены					
3	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены					
8	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены					
9	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены					
12	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены					
Через 10 сут хранения										
0	0,5·10 ²	0,4·10 ²	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены					
3	0,1·10 ¹	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены					
8	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены					
9	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены					
12	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены					
Через 20 сут хранения										
0	0,8·10 ⁴	6,0·10 ²	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены					
3	1,9·10 ¹	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены					
8	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены					
9	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены					
12	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены					
Через 30 сут хранения										
0	2,2·10 ⁵	1,0·10 ³	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены					
3	2,4·10 ²	2,1·10 ²	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены					
8	1,9·10 ²	0,5·10 ¹	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены					
9	0,8·10 ²	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены					
12	0,4·10 ²	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены					
Через 39 сут хранения										
0	5,3·10 ⁷	1,6·10 ⁴	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены					
3	3,1·10 ³	3,2·10 ³	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены					
8	2,1·10 ³	6,0·10 ²	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены					
9	1,1·10 ³	1,1·10 ²	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены					
12	6,5·10 ²	0,3·10 ¹	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены					

Таблица Н.4 – Микробиологические показатели образцов мяса косули до и после обработки ионизирующим излучением

Доза облучения, кГр	КМАФАнМ, КОЕ/г, не более	БГКП (колиформы) не допускаются в массе продукта, г	Патогенные, в том числе <i>Salmonella</i> и <i>Listeria monocytogenes</i> , не допускаются в массе продукта, г	Бактерии рода <i>Proteus</i> не допускаются в массе продукта, г				
					Допустимый уровень по ТР ТС 021/2011, ТР ТС 034/2013			
					1·10 ³	0,1	25	0,1
Фон (0 сут хранения)								
0	0,3·10 ¹	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены				
3	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены				
9	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены				
10	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены				
12	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены				
Через 10 сут хранения								
0	1,1·10 ²	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены				
3	0,5·10 ¹	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены				
9	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены				
10	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены				
12	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены				
Через 20 сут хранения								
0	8,1·10 ²	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены				
3	3,1·10 ¹	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены				
9	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены				
10	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены				
12	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены				
Через 30 сут хранения								
0	2,9·10 ⁴	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены				
3	1,5·10 ²	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены				
9	6,7·10 ¹	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены				
10	6,5·10 ¹	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены				
12	3,3·10 ¹	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены				
Через 39 сут хранения								
0	8,9·10 ⁶	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены				
3	2,9·10 ²	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены				
9	2,1·10 ²	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены				
10	2,0·10 ²	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены				
12	1,9·10 ²	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены				

Таблица Н.5 – Микробиологические показатели образцов мяса птицы до и после обработки ионизирующим излучением

Доза облучения, кГр	КМАФАнМ, КОЕ/г, не более	БГКП (колиформы) не допускаются в массе продукта, г	Патогенные, в том числе <i>Salmonella</i> и <i>Listeria monocytogenes</i> , не допускаются в массе продукта, г	Бактерии рода <i>Proteus</i> не допускаются в массе продукта, г				
					Допустимый уровень по ТР ТС 021/2011, ТР ТС 034/2013			
					1·10 ⁴	0,1	25	0,1
Фон (0 сут хранения)								
0	0,9·10 ¹	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены				
3	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены				
9	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены				
10	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены				
12	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены				
Через 10 сут хранения								
0	2,3·10 ²	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены				
3	1,4·10 ¹	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены				
9	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены				
10	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены				
12	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены				
Через 20 сут хранения								
0	4,6·10 ³	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены				
3	5,4·10 ¹	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены				
9	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены				
10	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены				
12	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены				
Через 30 сут хранения								
0	6,2·10 ⁴	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены				
3	7,3·10 ²	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены				
9	6,9·10 ²	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены				
10	3,9·10 ²	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены				
12	1,2·10 ²	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены				
Через 39 сут хранения								
0	6,9·10 ⁷	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены				
3	1,5·10 ⁴	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены				
9	1,3·10 ⁴	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены				
10	0,9·10 ⁴	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены				
12	0,3·10 ⁴	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены				

ПРИЛОЖЕНИЕ П

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ОХЛАЖДЕННОЙ РЫБЫ

Таблица П.1 – Органолептическая характеристика образцов охлажденной рыбы (каarp обыкновенный чешуйчатый) до и после обработки ионизирующим излучением

Наименование показателя по ГОСТ 814-96	Доза облучения, кГр					
	0	1; 2 и 3	4	9	10	12
Внешний вид (цвет жаберных лепестков и внешнего покрова)	Чистая влажная поверхность, жабры розового цвета, чешуя не сбита, слизь светлая, хорошо обескровлена, веки прозрачные и выпуклые со следами воды	Чистая влажноватая поверхность, жабры темно-розового цвета, чешуя не сбита, слизь светлая, хорошо обескровлена, веки прозрачные и выпуклые со следами воды	Поверхность чуть помутневшая, жабры красноватого цвета, чешуя не сбита, легко отделяется, слизь густая, веки суховатые	Поверхность помутневшая, жабры красного цвета, чешуя не сбита, легко отделяется, слизь густая, веки суховатые	Поверхность помутневшая, жабры красно-коричневого цвета, чешуя не сбита, легко отделяется, слизь густая, подпекшаяся, веки мутные подсохшие	Поверхность помутневшая, жабры коричневого цвета, чешуя частично сбита, легко отделяется, слизь липкая, густая, подпекшаяся, веки мутные, высохшие
Консистенция	Упругая, плотная, при надавливании быстро восстанавливается	Упругая, плотная, при надавливании быстро восстанавливается	Менее упругая, чуть ослабевшая, при надавливании остается незначительная вмятость	Менее упругая, ослабевшая, при надавливании остается незначительная вмятина	Рыхлая, «вареная», при надавливании остается углубление	Рыхлая, «вареная», при надавливании остается углубление
Цвет мяса и подкожного жира	Красноватый; жир светлый	Красноватый; жир светлый	Красновато-коричневый; чуть пожелтевший жир	Красновато-коричневый; незначительное пожелтение жира	Белесый, светло-коричневый; пожелтение жира	Белесый, светло-коричневый; пожелтение жира
Запах	Свойственный свежей рыбе, без порочащих признаков	Свойственный свежей рыбе, без порочащих признаков	Незначительный специфический аромат	Незначительный специфический аромат	Без характерного рыбного запаха	Без характерного рыбного запаха, запах окисленности

Таблица П.2 – Результаты органолептической оценки обработанных ионизирующим излучением образцов охлажденного карпа в процессе хранения, балл ($p \leq 0,05$)

Показатель	10 сут					20 сут					30 сут					39 сут				
	Доза облучения, кГр																			
	1-3	4	9	10	12	1-3	4	9	10	12	1-3	4	9	10	12	1-3	4	9	10	12
Внешний вид	5,0	3,1	2,8	2,3	1,9	5,0	2,9	2,6	2,2	1,8	4,8	2,5	2,3	2,2	1,6	4,5	2,2	2,0	1,8	1,5
Консистенция	5,0	3,3	3,1	2,0	2,0	4,9	3,1	3,0	1,9	1,9	4,7	3,0	2,8	1,9	1,7	4,2	2,8	2,5	1,8	1,7
Цвет мяса и жира	5,0	3,5	3,3	1,9	1,9	5,0	3,3	3,2	1,9	1,7	4,8	3,2	3,1	1,6	1,7	3,8	3,0	2,7	1,5	1,3
Запах	5,0	3,7	3,3	2,4	1,4	5,0	3,5	3,3	2,3	1,4	4,8	3,3	3,0	2,0	1,3	3,4	2,9	2,5	2,0	1,3
<i>Средний балл</i>	<i>5,0</i>	<i>3,4</i>	<i>3,1</i>	<i>2,2</i>	<i>1,8</i>	<i>4,98</i>	<i>3,20</i>	<i>3,00</i>	<i>2,08</i>	<i>1,70</i>	<i>4,78</i>	<i>3,00</i>	<i>2,80</i>	<i>1,93</i>	<i>1,58</i>	<i>3,98</i>	<i>2,72</i>	<i>2,43</i>	<i>1,78</i>	<i>1,50</i>

Таблица П.3 – Аминокислотный состав белков охлажденного карпа до и после обработки ионизирующим излучением, мг/100 г продукта ($M \pm m$), ($p \leq 0,05$)

Аминокислоты	Доза облучения, кГр	
	0	3
Незаменимые аминокислоты	7 286,29 ± 5,63	7 271,53 ± 5,89
Валин	823,39 ± 0,51	822,36 ± 0,53
Изолейцин	710,16 ± 0,37	709,56 ± 0,44
Лейцин	1 750,24 ± 2,02	1 749,13 ± 1,96
Лизин	1 837,86 ± 2,31	1 832,02 ± 2,26
Метионин	527,75 ± 0,39	526,30 ± 0,46
Треонин	716,86 ± 0,54	715,59 ± 0,59
Триптофан	185,59 ± 0,33	185,22 ± 0,35
Фенилаланин	734,44 ± 0,56	731,35 ± 0,49
Заменимые аминокислоты	7 785,80 ± 6,11	7 740,67 ± 6,32
Аланин	848,27 ± 0,63	838,52 ± 0,69
Аргинин	694,89 ± 0,43	691,10 ± 0,39
Аспарагиновая кислота	1 292,84 ± 1,31	1 290,60 ± 1,42
Гистидин	327,22 ± 0,29	321,31 ± 0,36

Аминокислоты	Доза облучения, кГр	
	0	3
Глицин	694,78 ± 0,49	689,91 ± 0,53
Глутаминовая кислота	2 059,57 ± 1,33	2 045,07 ± 1,52
Оксипролин	41,69 ± 0,07	41,60 ± 0,10
Пролин	570,33 ± 0,41	569,86 ± 0,43
Серин	612,34 ± 0,41	611,14 ± 0,39
Тирозин	433,56 ± 0,31	431,60 ± 0,32
Цистин	210,31 ± 0,29	209,96 ± 0,32
Общее количество аминокислот	15 072,09 ± 13,56	15 012,20 ± 14,01

Таблица П.4 – Микробиологические показатели образцов охлажденного карпа до и после обработки ионизирующим излучением

Доза облучения, кГр	КМАФАнМ, КОЕ/г, не более	БГКП (колиформы) не допускаются в массе продукта, г	<i>S. aureus</i> не допускается в массе продукта, г	<i>V. parahaemoliticus</i> , КОЕ/г, не более
	Допустимый уровень по ТР ЕАЭС 040/2016			
	1 · 10 ⁵	0,001	0,01	100
Фон (0 сут хранения)				
0	2,1 · 10 ¹	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены
1	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены
2	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены
3	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены
Через 10 сут хранения				
0	3,1 · 10 ²	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены
1	0,1 · 10 ¹	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены
2	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены
3	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены
Через 20 сут хранения				
0	9,9 · 10 ⁴	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены
1	2,0 · 10 ¹	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены
2	0,7 · 10 ¹	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены
3	0,2 · 10 ¹	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены

Доза облучения, кГр	КМАФАнМ, КОЕ/г, не более	БГКП (колиформы) не допускаются в массе продукта, г	<i>S. aureus</i> не допускается в массе продукта, г	<i>V. parahaemoliticus</i> , КОЕ/г, не более
	Допустимый уровень по ТР ЕАЭС 040/2016			
	$1 \cdot 10^5$	0,001	0,01	100
Через 30 сут хранения				
0	$7,7 \cdot 10^5$	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены
1	$3,6 \cdot 10^3$	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены
2	$4,1 \cdot 10^2$	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены
3	$6,1 \cdot 10^1$	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены
Через 39 сут хранения				
0	$2,6 \cdot 10^6$	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены
1	$5,2 \cdot 10^4$	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены
2	$2,6 \cdot 10^4$	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены
3	$1,5 \cdot 10^3$	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены

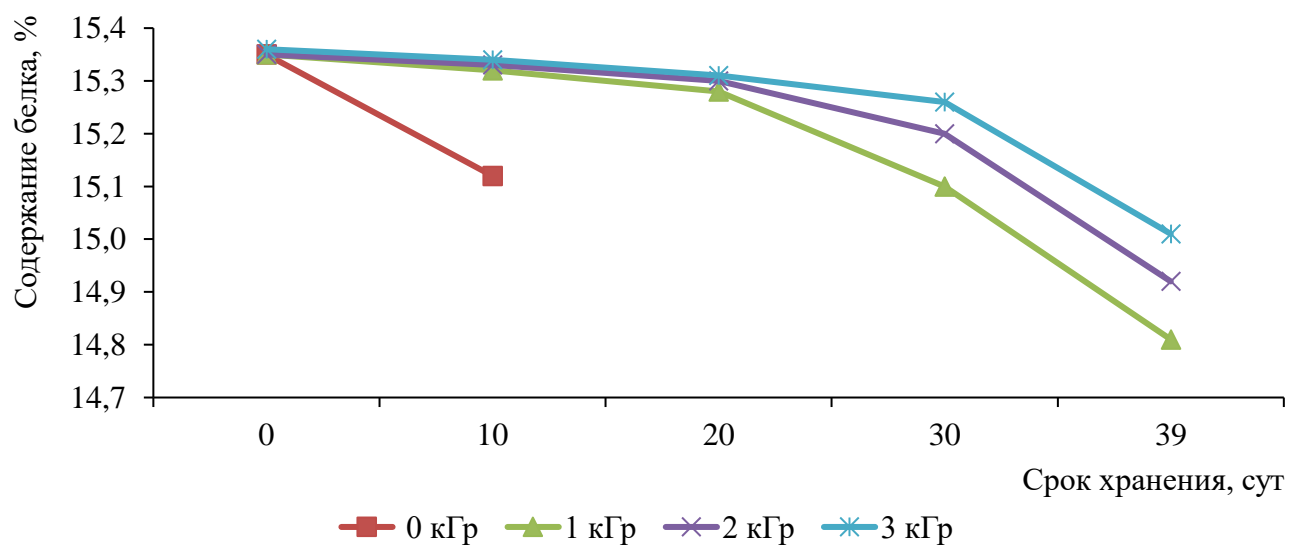


Рисунок П.1 – Содержание белка в образцах карпа в процессе хранения, %

ПРИЛОЖЕНИЕ Р

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПРЯНОСТЕЙ

Таблица Р.1 – Микробиологические показатели пряностей в процессе хранения

Показатель	Фон – 0 мес.	6 мес.	12 мес.	18 мес.
Перец черный молотый				
До обработки ионизирующим излучением				
КМАФАнМ, КОЕ/г (не более $5 \cdot 10^5$)	$1,5 \cdot 10^1$	$2,8 \cdot 10^2$	$8,5 \cdot 10^4$	$9,3 \cdot 10^5$
БГКП (масса продукта, в которой не допускается – 0,01 г)	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены
Сульфитредуцирующие клостридии (масса продукта, в которой не допускается – 0,01 г)	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены
Патогенные микроорганизмы, в том числе сальмонеллы (масса продукта, в которой не допускаются – 25 г)	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены
Плесени, КОЕ/г (не более $1 \cdot 10^3$)	Не обнаружены	$0,5 \cdot 10^1$	$7,1 \cdot 10^2$	$1,8 \cdot 10^3$
После обработки дозой 12 кГр				
КМАФАнМ, КОЕ/г (не более $5 \cdot 10^5$)	Не обнаружены	$1,1 \cdot 10^1$	$2,2 \cdot 10^2$	$3,5 \cdot 10^4$
БГКП (масса продукта, в которой не допускается – 0,01 г)	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены
Сульфитредуцирующие клостридии (масса продукта, в которой не допускается – 0,01 г)	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены
Патогенные микроорганизмы, в том числе сальмонеллы (масса продукта, в которой не допускаются – 25 г)	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены
Плесени, КОЕ/г (не более $1 \cdot 10^3$)	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	$2,1 \cdot 10^1$
Перец белый молотый				
Без обработки ионизирующим излучением				
КМАФАнМ, КОЕ/г (не более $5 \cdot 10^5$)	$1,7 \cdot 10^1$	$3,3 \cdot 10^2$	$8,9 \cdot 10^4$	$9,8 \cdot 10^5$
БГКП (масса продукта, в которой не допускается – 0,01 г)	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены
Сульфитредуцирующие клостридии (масса продукта, в которой не допускается – 0,01 г)	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены

Показатель	Фон – 0 мес.	6 мес.	12 мес.	18 мес.
Патогенные микроорганизмы, в том числе сальмонеллы (масса продукта, в которой не допускаются – 25 г)	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены
Плесени, КОЕ/г (не более $1 \cdot 10^3$)	Не обнаружены	$1,0 \cdot 10^1$	$8,4 \cdot 10^2$	$2,1 \cdot 10^3$
После обработки дозой 12 кГр				
КМАФАнМ, КОЕ/г (не более $5 \cdot 10^5$)	Не обнаружены	$1,8 \cdot 10^1$	$3,2 \cdot 10^2$	$4,3 \cdot 10^4$
БГКП (масса продукта, в которой не допускается – 0,01 г)	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены
Сульфитредуцирующие клостридии (масса продукта, в которой не допускается – 0,01 г)	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены
Патогенные микроорганизмы, в том числе сальмонеллы (масса продукта, в которой не допускаются – 25 г)	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены
Плесени, КОЕ/г (не более $1 \cdot 10^3$)	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	$2,5 \cdot 10^1$
Куркума молотая				
Без обработки ионизирующим излучением				
КМАФАнМ, КОЕ/г (не более $5 \cdot 10^5$)	$1,3 \cdot 10^1$	$2,8 \cdot 10^2$	$8,1 \cdot 10^4$	$7,6 \cdot 10^5$
БГКП (масса продукта, в которой не допускается – 0,01 г)	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены
Сульфитредуцирующие клостридии (масса продукта, в которой не допускается – 0,01 г)	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены
Патогенные микроорганизмы, в том числе сальмонеллы (масса продукта, в которой не допускаются – 25 г)	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены
Плесени, КОЕ/г (не более $1 \cdot 10^3$)	Не обнаружены	$1,3 \cdot 10^1$	$7,0 \cdot 10^2$	$1,9 \cdot 10^3$
После обработки дозой 12 кГр				
КМАФАнМ, КОЕ/г (не более $5 \cdot 10^5$)	Не обнаружены	$1,5 \cdot 10^1$	$3,0 \cdot 10^2$	$4,0 \cdot 10^4$
БГКП (масса продукта, в которой не допускается – 0,01 г)	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены
Сульфитредуцирующие клостридии (масса продукта, в которой не допускается – 0,01 г)	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены
Патогенные микроорганизмы, в том числе сальмонеллы (масса продукта, в которой не допускаются – 25 г)	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены
Плесени, КОЕ/г (не более $1 \cdot 10^3$)	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	$1,8 \cdot 10^1$
Чили острый молотый				
Без обработки ионизирующим излучением				
КМАФАнМ, КОЕ/г (не более $5 \cdot 10^5$)	$1,1 \cdot 10^1$	$1,8 \cdot 10^2$	$8,3 \cdot 10^4$	$9,1 \cdot 10^5$
БГКП (масса продукта, в которой не допускается – 0,01 г)	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены
Сульфитредуцирующие клостридии (масса продукта, в которой не допускается – 0,01 г)	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены

Показатель	Фон – 0 мес.	6 мес.	12 мес.	18 мес.
Патогенные микроорганизмы, в том числе сальмонеллы (масса продукта, в которой не допускаются – 25 г)	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены
Плесени, КОЕ/г (не более $1 \cdot 10^3$)	Не обнаружены	$0,8 \cdot 10^1$	$1,9 \cdot 10^2$	$2,1 \cdot 10^3$
После обработки дозой 12 кГр				
КМАФАнМ, КОЕ/г (не более $5 \cdot 10^5$)	Не обнаружены	$1,1 \cdot 10^1$	$2,4 \cdot 10^2$	$3,6 \cdot 10^4$
БГКП (масса продукта, в которой не допускается – 0,01 г)	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены
Сульфитредуцирующие клостридии (масса продукта, в которой не допускается – 0,01 г)	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены
Патогенные микроорганизмы, в том числе сальмонеллы (масса продукта, в которой не допускаются – 25 г)	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены
Плесени, КОЕ/г (не более $1 \cdot 10^3$)	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	$1,3 \cdot 10^1$
Чили жгучий молотый				
Без обработки ионизирующим излучением				
КМАФАнМ, КОЕ/г (не более $5 \cdot 10^5$)	$1,5 \cdot 10^1$	$3,4 \cdot 10^2$	$7,9 \cdot 10^4$	$9,1 \cdot 10^5$
БГКП (масса продукта, в которой не допускается – 0,01 г)	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены
Сульфитредуцирующие клостридии (масса продукта, в которой не допускается – 0,01 г)	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены
Патогенные микроорганизмы, в том числе сальмонеллы (масса продукта, в которой не допускаются – 25 г)	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены
Плесени, КОЕ/г (не более $1 \cdot 10^3$)	Не обнаружены	$1,8 \cdot 10^1$	$3,1 \cdot 10^2$	$2,4 \cdot 10^3$
После обработки дозой 12 кГр				
КМАФАнМ, КОЕ/г (не более $5 \cdot 10^5$)	Не обнаружены	$1,6 \cdot 10^1$	$3,2 \cdot 10^2$	$3,9 \cdot 10^4$
БГКП (масса продукта, в которой не допускается – 0,01 г)	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены
Сульфитредуцирующие клостридии (масса продукта, в которой не допускается – 0,01 г)	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены
Патогенные микроорганизмы, в том числе сальмонеллы (масса продукта, в которой не допускаются – 25 г)	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены
Плесени, КОЕ/г (не более $1 \cdot 10^3$)	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	$2,2 \cdot 10^1$

Таблица Р.2 – Содержание токсичных элементов в пряностях до и после обработки ионизирующим излучением

Доза облучения, кГр	Токсичный элемент		
	Свинец	Мышьяк	Кадмий
	Допустимый уровень по ТР ТС 021/2011, мг/кг, не более		
	5,0	3,0	0,2
Перец черный молотый			
0	0,26	0,14	Не обнаружен
12	0,26	0,14	Не обнаружен
Перец белый молотый			
0	0,29	0,15	Не обнаружен
12	0,29	0,15	Не обнаружен
Куркума молотая			
0	0,31	0,15	Не обнаружен
12	0,31	0,15	Не обнаружен
Чили острый молотый			
0	0,30	0,16	Не обнаружен
12	0,30	0,16	Не обнаружен
Чили жгучий молотый			
0	0,32	0,15	Не обнаружен
12	0,32	0,15	Не обнаружен

ПРИЛОЖЕНИЕ Т

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПЛОДОВ СВЕЖИХ

Таблица Т.1 – Органолептическая характеристика образцов яблок свежих помологического сорта «Ренет Платона Симиренко» до и после обработки ионизирующим излучением

Наименование показателя по ГОСТ 34314-2017	Доза облучения, кГр					
	0	1–3	4	9	10	12
Внешний вид	Плоды целые, чистые, без излишней внешней влажности, типичной для помологического сорта формы, окраски, с плодоножкой	Плоды целые, чистые, без излишней внешней влажности, типичной для помологического сорта формы, окраски, с плодоножкой	Плоды с морщинистой поверхностью	Плоды со сморщенной поверхностью	Плоды со сморщенной поверхностью, потемнение кожицы	Морщинистая поверхность, наличие бурых пигментных пятен, растрескивание кожицы
Запах, вкус	Свойственный для помологического сорта, без посторонних вкуса и запаха	Свойственный для помологического сорта, без посторонних вкуса и запаха	Слабый ионизирующий запах, вкус слегка «вареный»	Ионизирующий запах, вкус «вареный»	Ионизирующий запах, вкус «вареный»	Ионизирующий запах, вкус «вареный»
Состояние мякоти	Доброкачественная	Доброкачественная	Мягковатая	Мягкая	Мягкая, рыхлая, «ватная»	Мягкая, рыхлая, «ватная»
Степень зрелости и состояние плода	Плоды съемной степени зрелости, способные перенести транспортировку	Плоды съемной степени зрелости, способные перенести транспортировку	Плоды плохо транспортабельны	Плоды нетранспортабельны	Плоды нетранспортабельны	Плоды нетранспортабельны
Цвет	Свойственный данному виду, требования к окраске не применяются	Свойственный данному виду, требования к окраске не применяются	Светло-коричневый	Коричневато-зеленый	Коричневатый	Коричневатый

Таблица Т.2 – Микробиологические показатели яблок свежих в процессе хранения

Показатель	Фон – 0 мес.	1 мес.	2 мес.	3 мес.	4 мес.	5 мес.	6 мес.
Без обработки ионизирующим излучением							
КМАФАнМ, КОЕ/г (не более $5 \cdot 10^4$)	$0,1 \cdot 10^1$	$0,9 \cdot 10^1$	$0,6 \cdot 10^2$	$0,9 \cdot 10^2$	$0,7 \cdot 10^3$	$7,2 \cdot 10^3$	$5,6 \cdot 10^4$
БГКП (масса продукта, в которой не допускается – 0,1 г)	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены
Патогенные, в том числе сальмонеллы (масса продукта, в которой не допускаются – 25 г)	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены
Дрожжи, КОЕ/г (не более $2 \cdot 10^2$)	Не обнаружены	$0,1 \cdot 10^1$	$0,2 \cdot 10^1$	$0,9 \cdot 10^1$	$0,1 \cdot 10^2$	$0,8 \cdot 10^2$	$2,2 \cdot 10^2$
Плесени, КОЕ/г (не более $1 \cdot 10^3$)	Не обнаружены	Не обнаружены	$0,1 \cdot 10^1$	$0,5 \cdot 10^1$	$0,9 \cdot 10^1$	$0,5 \cdot 10^2$	$1,0 \cdot 10^3$
После обработки дозой 1 кГр							
КМАФАнМ, КОЕ/г (не более $5 \cdot 10^4$)	Не обнаружены	$0,3 \cdot 10^1$	$0,9 \cdot 10^1$	$0,5 \cdot 10^2$	$0,2 \cdot 10^3$	$0,5 \cdot 10^3$	$0,1 \cdot 10^4$
БГКП (масса продукта, в которой не допускается – 0,1 г)	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены
Патогенные, в том числе сальмонеллы (масса продукта, в которой не допускаются – 25 г)	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены
Дрожжи, КОЕ/г (не более $2 \cdot 10^2$)	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	$0,3 \cdot 10^1$	$0,9 \cdot 10^1$	$0,5 \cdot 10^2$
Плесени, КОЕ/г (не более $1 \cdot 10^3$)	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	$0,8 \cdot 10^1$	$0,4 \cdot 10^2$	$0,3 \cdot 10^3$
После обработки дозой 2 кГр							
КМАФАнМ, КОЕ/г (не более $5 \cdot 10^4$)	Не обнаружены	$0,2 \cdot 10^1$	$0,4 \cdot 10^1$	$0,2 \cdot 10^2$	$0,1 \cdot 10^3$	$0,2 \cdot 10^3$	$0,9 \cdot 10^3$
БГКП (масса продукта, в которой не допускается – 0,1 г)	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены

Показатель	Фон – 0 мес.	1 мес.	2 мес.	3 мес.	4 мес.	5 мес.	6 мес.
Патогенные, в том числе сальмонеллы (масса продукта, в которой не допускаются – 25 г)	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены
Дрожжи, КОЕ/г (не более $2 \cdot 10^2$)	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	$0,5 \cdot 10^1$	$0,3 \cdot 10^2$
Плесени, КОЕ/г (не более $1 \cdot 10^3$)	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	$0,2 \cdot 10^2$	$0,2 \cdot 10^3$
После обработки дозой 3 кГр							
КМАФАнМ, КОЕ/г (не более $5 \cdot 10^4$)	Не обнаружены	$0,1 \cdot 10^1$	$0,2 \cdot 10^1$	$0,1 \cdot 10^2$	$0,8 \cdot 10^2$	$0,1 \cdot 10^3$	$0,4 \cdot 10^3$
БГКП (масса продукта, в которой не допускается – 0,1 г)	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены
Патогенные, в том числе сальмонеллы (масса продукта, в которой не допускаются – 25 г)	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены
Дрожжи, КОЕ/г (не более $2 \cdot 10^2$)	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	$0,4 \cdot 10^1$
Плесени, КОЕ/г (не более $1 \cdot 10^3$)	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	$0,1 \cdot 10^2$

458

Таблица Т.3 – Содержание токсичных элементов в яблоках свежих до и после обработки ионизирующим излучением

Доза облучения, кГр	Токсичный элемент			
	Свинец	Мышьяк	Кадмий	Ртуть
	Допустимый уровень по ТР ТС 021/2011, мг/кг, не более			
	0,4	0,2	0,03	0,02
0	0,02	Не обнаружен	Не обнаружен	Не обнаружена
1	0,02	Не обнаружен	Не обнаружен	Не обнаружена
2	0,02	Не обнаружен	Не обнаружен	Не обнаружена
3	0,02	Не обнаружен	Не обнаружен	Не обнаружена