

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОГЛОЩЕННЫХ ДОЗ ДЛЯ РАЗНЫХ ВИДОВ РАДИАЦИОННО-ОБРАБОТАННОГО МЯСА

Р.Т. Тимакова, С.Л. Тихонов, Тихонова Н.В.

Распространение радиационных технологий обработки сельскохозяйственного сырья и пищевых продуктов требует совершенных методов дозиметрии. Целью исследований является разработка методики определения поглощенных доз для разных видов радиационно-обработанного мяса. В ходе эксперимента образцы подвергали обработке следующими дозами: 3, 9, 10, 12 кГр с помощью линейного ускорителя электронов модели УЭЛР-10-10С2. Исследования облученных образцов проводили на спектрометре ЭПР марки Labrador Expert X-диапазона. Опытным путем установлено, что разработанная методика определения поглощенных доз позволяет с высокой степенью достоверности рассчитать поглощенную дозу по облученным мякотным частям говядины, свинины и птицы. Выявлена корреляционная зависимость увеличения площади ЭПР-сигнала от дозы облучения: для говядины – 0,89, для свинины – 0,68 и птицы – 0,73. Установлена высокая сила статистической связи между дозой облучения и поглощенной дозой: по свинине – 0,87, по говядине – 0,94, по птице – 0,84. Разработанная методика определения дозы облучения мякотной ткани позволяет с высокой степенью достоверности ($p \leq 0,05$) определить дозу облучения.

Ключевые слова: продовольственные потери, облучение, спектр, амплитуда, поглощенная доза, метод ЭПР.

Введение

Сокращение продовольственных потерь и повышение эффективности использования ресурсов является частью одной из Целей в области устойчивого развития (ЦУР), определенных ООН [1].

По оценкам ФАО, в мире ежегодно теряется почти треть всех пищевых продуктов, производимых для потребления [2]. Продовольственные потери на всех этапах логистической цепочки, свидетельствующие об неэффективном расходовании ресурсов, подрывают основу продовольственной безопасности и являются угрозой для устойчивого мирового развития.

В России в общем объеме производства более 80 % говядины, 94 % свинины и 64 % птицы занимает охлажденная скоропортящаяся продукция [3-5]. Только за счет естественной убыли потери в розничной торговой сети составляют: по охлажденной говядине в пределах 0,58–0,7 %, по охлажденной свинине – 0,51–0,59 %, по охлажденному мясу птицы, упакованному в полимерные пленки – 0,20–0,25 % [6].

Хранение в подмороженном состоянии и вакуумной среде, обработка ультрафиолетовыми лучами, антиокислителями и антибиотиками приносят свои положительные результаты.

Автор работы [7], проведя исследования по увеличению сроков годности говядины до

30 суток при хранении в газомодифицированной среде, утверждает, что воздействие на пищевые продукты с помощью радиации не получило широкого промышленного применения. Данное заявление не согласуется с общемировыми тенденциями. Начиная с 1992 года, метод холодной пастеризации активно применяется для обработки продовольственного сырья и пищевых продуктов. С 01 июля 2017 года в России вводятся в действие ГОСТ 33820-2016 «Мясо свежее и мороженое, Руководство по облучению для уничтожения паразитов, патогенных и иных микроорганизмов» и ГОСТ 33825-2016 «Полуфабрикаты из мяса упакованные, Руководство по облучению для уничтожения паразитов, патогенных и иных микроорганизмов». В этих НД представлена информация о технологии обработки ионизирующим облучением мяса свежего и мороженого, полуфабрикатов из мяса, установлен регламент до и после процедуры облучения, представлены сведения о радиационной чувствительности основных вегетативных патогенных бактериях, обнаруживаемых в продуктах: *Campylobacter*, *Escherichia coli*, *Listeria* и др. Отдельно выделено, что согласно техническому регламенту ТР ТС 021/2011 к обращению не допускаются мясо птицы, конина и мясо домашнего кролика, обработанные ионизирующими излучениями.

За рубежом облучение мяса кур разрешено и регламентируется ASTM F1356-08.

Авторы работы [8] отмечают, что мясное сырье менее обсеменено патогенной микрофлорой, в отличие от мясных полуфабрикатов. Обработка ионизирующим излучением продовольственного сырья и пищевых продуктов является наиболее эффективным методом консервирования. В последние годы в качестве источника ионизирующего излучения преимущественно используется обработка пучками электронов. В [9] отмечено существенное увеличение срока годности при использовании радиационной технологии обработки и более низкие энергетические и денежные затраты. Доза от 4,5 кГр снижает микробиологическую обсемененность [10–12].

Эксперты ФАО, ВОЗ и МАГАТЭ на основе анализа многочисленных научных исследований, проведенных учеными разных стран, пришли к выводу об относительной безвредности применения метода холодной пастеризации при условии, что поглощенная доза не превышает 10 кГр.

По действующему ГОСТ Р 52529-2006 «Мясо и мясные продукты. Метод электронного парамагнитного резонанса для выявления радиационно-обработанных мяса и мясопродуктов, содержащих костную ткань» методом электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) можно идентифицировать по костной ткани мяса: облучена продукция или нет. Однако способностью к поглощению отличается не только костная, но и мякотная ткань. Исходя из данных предпосылок, идентификация и распространение имеющейся методики по ГОСТ Р 52529-2006 на образцы мякотной ткани, а также разработка методики определения поглощенной дозы, являются важным и своевременным. ЭПР спектроскопия позволяет зафиксировать с помощью спектрометра аналитический сигнал – ЭПР-спектр [13].

Целью исследований является идентификация радиационно-обработанных мякотных частей мяса различных видов и разработка методики количественного определения поглощенных доз ионизирующего излучения методом ЭПР для мякотных частей.

Объекты и методы исследований

Объекты исследований: охлажденное мясо – свинина и говядина (заднепоясничная часть туши) после 48 ч с момента убоя, мясо кур (грудная часть тушки) после 24 ч с момента убоя. Для разработки методики образцы мяса подвергали обработке ионизирующим излучением дозами: 3, 9, 10, 12 кГр.

Отбор проб мякотной ткани мяса проводили по ГОСТ Р 51447-99 «Мясо и мясные продукты. Методы отбора проб».

Обработка проб ионизирующим излучением проводилась в Центре радиационной стерилизации Уральского федерального университета им. Б.Н. Ельцина на линейном ускорителе электронов модели УЭЛР-10-10С2 с энергией до 10 МэВ. В качестве дозиметра использовался спектрометр ЭПР марки Labrador Expert X-диапазона.

За основу методики взяты основные положения ГОСТ Р 52529-2006. Разработанная нами методика подготовки образцов мякотной ткани для эксперимента предполагает увеличение продолжительности сушки в отличие от требований ГОСТ 52529-2006, что позволяет получить стабильные ЭПР-спектры и, соответственно, достоверные результаты.

Методика подготовки образцов мышечной ткани (ОМТ) заключается в следующем: мышечная ткань измельчается и сушится при температуре 39–40 °С в течение 24–30 ч до содержания влаги в продукте 16–20 %. Затем исследуемые образцы ОМТ взвешивают с точностью до третьего десятичного знака. ОМТ помещали в кварцевую ампулу высотой 10,0±0,5 мм и размещали в рабочей зоне резонатора на определенную глубину.

Опытные исследования проводили в 5-кратной повторности, при частоте облучения 9200МГц, в диапазоне магнитного поля от 3000 до 3500 Гс и с подбором оптимальных значений времени преобразования, амплитуды модуляции, коэффициента усиления. Для сравнения сигналов использовался эталонный высоко стабильный образец.

Обработку ЭПР-спектров проводили с использованием специализированного программного обеспечения. Для каждого исследуемого образца определяли следующие параметры ЭПР-сигнала: g-фактор; амплитуду (отн. ед.); ширину линии поглощения (Гс); площадь сигнала (отн. ед.). За дозу облучения принимали дозу воздействия ионизирующего излучения на исследуемые образцы; за поглощенную дозу – величины энергии ионизирующего излучения, поглощенное облучаемым ОМТ.

В связи с тем, что обработка ЭПР сигнала в нашем эксперименте осуществлялась автоматизировано (в отличие от условий ГОСТ Р 52529-2006), нами внесены изменения в единицы измерения параметров: единица измерения КПЦ соответствовала эталонному образцу, интенсивность сигнала рассчитывали в относительных единицах. Внесенные изменения позволили расчетным

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОГЛОЩЕННЫХ ДОЗ ДЛЯ РАЗНЫХ ВИДОВ РАДИАЦИОННО-ОБРАБОТАННОГО МЯСА

способом определить не только факт облучения, но и поглощенную дозу.

$$D = \frac{КПЦ \cdot L_0}{M \cdot L_M} \cdot 10^{-15} \quad (1)$$

где КПЦ – число парамагнитных центров;
 L_0 – значение интенсивности сигнала ЭПР ОМТ, отн. ед.;
 M – масса образца мякотной ткани, г;
 L_M – интенсивность сигнала ЭПР эталонного образца, отн. ед.;
 D – поглощенная доза.

Результаты исследований обработаны методом вариационной статистики с использованием коэффициента Стьюдента.

Результаты исследований

После облучения ОМТ свинины дозой 3 кГр (рисунок 1) в диапазоне поля 3260–3293 Гс амплитуда пика составляет $8,62 \pm 0,74e-5$, ширина сигнала $9,96 \pm 0,10$ Гс и площадь пика – $3,118 \pm 0,081e-4$.

После облучения ОМТ дозой 9 кГр наблюдается изменение характеристик спектра ЭПР-сигнала: при снижении амплитуды пика до $4,27 \pm 0,22e-5$ или на 50,5 %, и при уширении сигнала до $12,29 \pm 0,01$ Гс или на 23,3 % отмечается увеличение площади сигнала до $9,516 \pm 0,0003e-4$ или в 3,1 раза.

После облучения дозой 10 кГр увеличилась амплитуда сигнала по сравнению с ОМТ свинины, облученными дозой 9 кГр, на 23,4 % до $5,27 \pm 0,23e-5$ и площади пика – на 5,2 % (до $1,0 \pm 0,2e-3$), отмечено уменьшение ширины пика на 6,7 % до $11,47 \pm 0,14$ Гс. Облучение дозой 12 кГр привело к увеличению амплитуды пика в 1,9 раза до $1,01 \pm 0,01e-4$ и площади пика в 6,8 раза до $6,794 \pm 0,082e-3$ при уширении сигнала на 33,0 % до $15,25 \pm 0,12$ Гс по сравнению с ОМТ, облученными дозой 10 кГр.



Рисунок 1 – Спектр ОМТ свинины, облученной дозой 3 кГр (g -фактор $2,0062 \pm 0,0002$)

Образцы мякотной ткани говядины, облученные дозой 3 кГр (рисунок 2), в диапазоне поля 3260–3290 Гс имели амплитуду пика $5,29 \pm 0,08e-5$ и ширину сигнала $10,14 \pm 0,15$ Гс. Площадь пика под линией поглощения была равна $9,317 \pm 0,025e-4$. После облучения дозой 9 кГр отмечается увеличение амплитуды пика на 71,8 % до $9,09 \pm 0,22e-5$ при сужении ширины на 4,5 % до $9,68 \pm 0,26$ Гс и увеличении площади пика 61,0 % до $1,500 \pm 0,010e-3$.

Исследование образцов, облученных дозой 10 кГр, показало, что при увеличении амплитуды пика сигнала на 13,3 % до $1,03 \pm 0,04e-4$ и ширины пика на 12,4 % (до $10,88 \pm 0,09$) отмечается также увеличение площади сигнала на 33,0 % до $1,995 \pm 0,010e-3$ по сравнению с ОМТ, облученными более низкой дозой – 9 кГр.

Облучение ОМТ дозой 12 кГр по сравнению с ОМТ говядины, облученными 10 кГр, привело при увеличении амплитуды пика сигнала ЭПР на 46,6 % до значения $1,51 \pm 0,06e-4$ и ширины сигнала на 8,6 % ($11,82 \pm 0,41$ Гс) к увеличению площади пика на 50,4 % до значения $3,000 \pm 0,030e-3$.

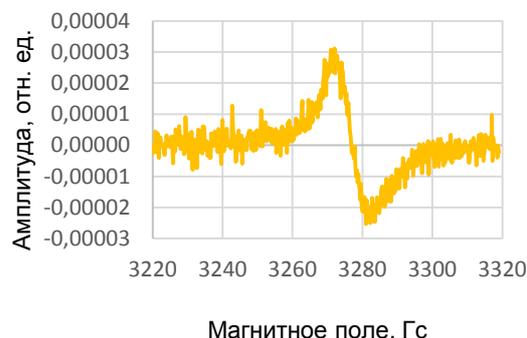


Рисунок 2 – Спектр ОМТ говядины, облученной дозой 3 кГр (g -фактор $2,0058 \pm 0,0006$)

После облучения образцов мяса птицы дозой 3 кГр (рисунок 3) в диапазоне поля 3260–3290 Гс амплитуда пика составила $3,85 \pm 0,06e-5$ при ширине сигнала $9,58 \pm 0,29$ Гс и площади пика $5,074 \pm 0,085e-4$.

После облучения образцов дозой 9 кГр отмечается изменение параметров ЭПР-сигнала по сравнению с образцами, облученными дозой 3 кГр: увеличение амплитуды пика на 21,8 % до $4,69 \pm 0,36e-5$ при снижении ширины сигнала на 11,6 % до $8,47 \pm 0,31$ Гс и увеличение площади пика на 3,2 % до $5,234 \pm 0,036e-4$.

После облучения дозой 10 кГр уменьшилась амплитуда пика сигнала по сравнению с образцами мяса птицы, облученными дозой 9 кГр, на 4,3 % до $4,48 \pm 0,20e-5$ с одновре-

менным расширением пика на 26,1 % до $10,68 \pm 0,14$ Гс и увеличением площади на 32,7 % (до $6,940 \pm 0,154e-4$).

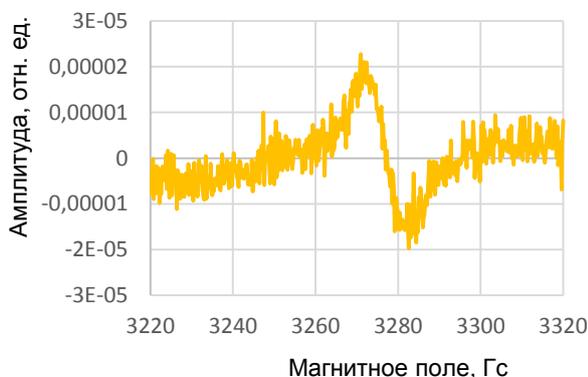


Рисунок 3 – Спектр ОМТ птицы, облученной дозой 3кГр (g-фактор $2,0057 \pm 0,0002$)

Облучение дозой 12 кГр привело к увеличению амплитуды пика на 74,6 % до значения $7,82 \pm 0,22e-5$ и площади пика в 1,6 раза до $1,115 \pm 0,021e-3$ при снижении ширины сигнала на 3,0 % до $10,57 \pm 0,24$ Гс по сравнению с образцами мяса птицы, облученными 10кГр.

В результате обработки образцов мягкотных тканей ионизирующим излучением разными дозами установлена различная способность к поглощению дозы облучения в зависимости от вида мяса. Наибольшей способностью к поглощению отличаются мягкотные части говядины и свинины, что может быть связано с видовыми особенностями: консистенцией мяса, более упругой и плотной в говядине и свинине. Зафиксировано, что амплитуда ОМТ не изменяется пропорционально дозе облучения. В тоже время установлено, что наиболее восприимчивы к изменению дозы ОМТ говядины (коэффициент корреляции 0,93) (рисунок 4). Легенда (условные обозначения) для рисунков 4,5,6 представлена ниже: свинина обозначена желтым цветом (1), говядина – зеленым цветом (2), птица – синим цветом (3).

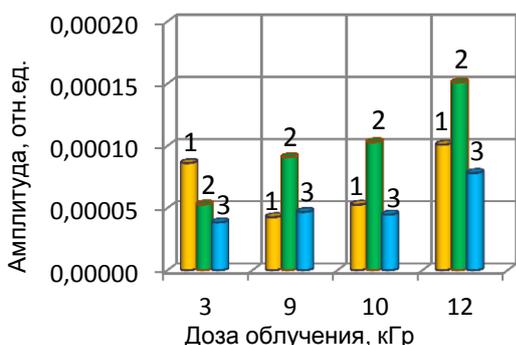


Рисунок 4 – Амплитуда ЭПР-сигналов ОМТ

Анализ полученных данных свидетельствует об отсутствии достоверно установленной зависимости ширины ЭПР-сигналов от дозы облучения (рисунок 5).

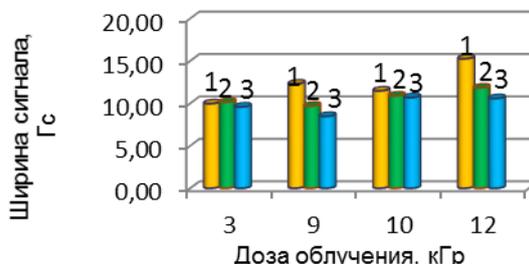


Рисунок 5 – Ширина ЭПР-сигналов ОМТ
Площадь ЭПР-сигнала у всех образцов мягкотных тканей увеличивается с увеличением дозы облучения: для ОМТ говядины установлена высокая степень силы статистической связи (коэффициент корреляции равен 0,89), для ОМТ свинины и птицы – заметная (коэффициент корреляции, соответственно, 0,68 и 0,73; рисунок 6).

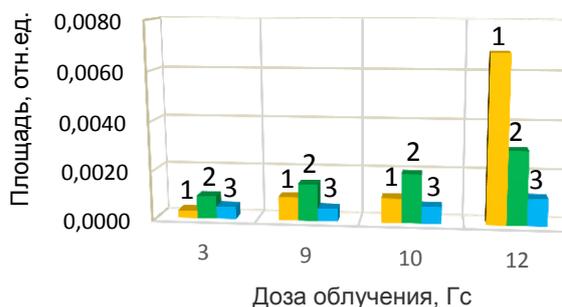


Рисунок 6 – Площадь ЭПР-сигналов ОМТ
Поглощенная доза у всех ОМТ имеет достоверно установленную зависимость к увеличению с увеличением дозы облучения с высокой степенью статистической связи: свинина – 0,87, говядина – 0,94, птица – 0,84.

Трехмерная графическая интерпретация дает наглядное представление о влиянии совокупности факторов (дозы облучения X1 и площади сигнала X2) на поглощенную дозу излучения (рисунок 7, 8, 9).

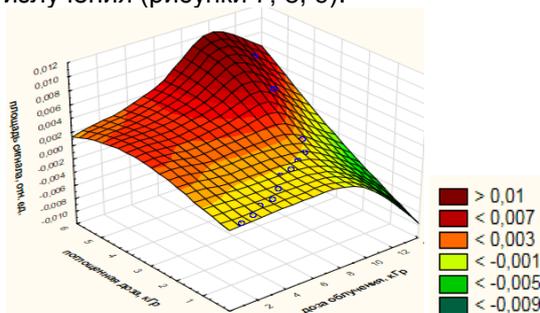


Рисунок 7 – Поверхность отклика $Y=f(X1; X2)$ для образцов мягкотной ткани свинины
ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 1 2017

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОГЛОЩЕННЫХ ДОЗ ДЛЯ РАЗНЫХ ВИДОВ РАДИАЦИОННО-ОБРАБОТАННОГО МЯСА

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

Поглощенная доза для каждого вида мяса – различна и зависит от видовой принадлежности мякотной ткани. Наибольшей способностью к поглощению отличаются мякотные части говядины и свинины (коэффициент корреляции соответственно 0,94 и 0,87), в меньшей степени – мясо птицы (коэффициент корреляции 0,84).

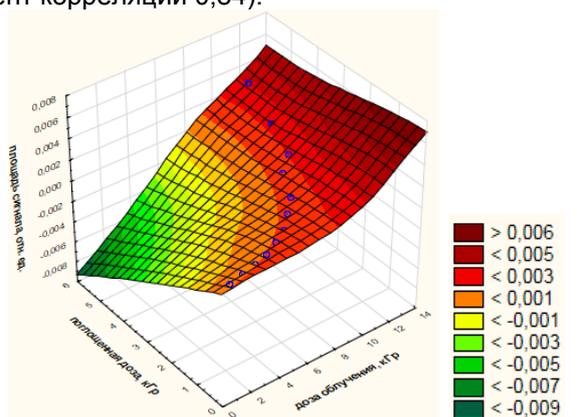


Рисунок 8 – Поверхность отклика $Y=f(X_1; X_2)$ для образцов мякотной ткани говядины

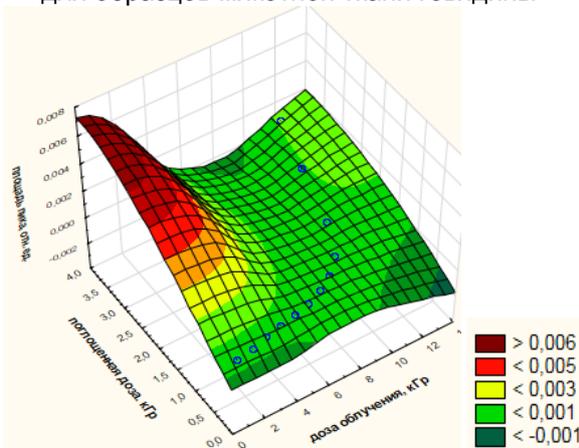


Рисунок 9 – Поверхность отклика $Y=f(X_1; X_2)$ для образцов мякотной ткани птицы

Установлено увеличение поглощенной дозы с увеличением площади под линией

сигнала ЭПР-спектра. Для ОМТ говядины коэффициент корреляции равен 0,89, для свинины и птицы – соответственно, 0,68 и 0,73). Амплитуда образцов мякотной ткани не изменяется пропорционально дозе облучения: наиболее восприимчивы к изменению дозы облучения ОМТ говядины. Отсутствует достоверно установленная зависимость ширины ЭПР-сигналов от дозы облучения.

Разработанная методика, путем использования основных характеристик ЭПР-сигнала – амплитуды, ширины и площади пика ЭПР сигнала ОМТ, позволяет с высокой степенью достоверности ($p \leq 0,05$) определить по формуле (1) поглощенную дозу облучения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ФАО, МФСР и ВПП. Мониторинг продовольственной безопасности и питания в поддержку осуществления Повестки дня в области устойчивого развития на период до 2030 года: подведение итогов и планы на будущее. – Рим, ФАО. 2016. – 24 с.
2. FAO. 2011b. Global food losses and food waste: extent causes and prevention. Rome. [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://www.fao.org/3/a-i2697e.pdf> (дата обращения 23.02.2017).
3. Позняковский В.М. О некоторых приоритетах науки о питании / Ползуновский вестник. – 2011. – N 3/2. – С.7–22.
4. Poznyakovskiy, V.M. About the quality of meat with PSE and DFD properties / Poznyakovskiy V.M., Gorlov I.F., Tikhonov S.L., Shelepov V.G. // Foods and Raw Materials – 2015. – N 1/3. – P. 104–110.
5. Tikhonov, S.L. Use of bar processing to increase the shelf life of vitaminized sausages and their use for the correction of students " health 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. – N 2/4. – P. 121–127.
6. Нормы естественной убыли продовольственных товаров в сфере торговли и общественного питания (утв. Приказом Министерства промышленности и торговли РФ от 1.03.2013 г. № 252). – [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://base.garant.ru> (дата обращения 16.02.2017).
7. Костенко, Ю.Г. О проблеме производства мяса длительного срока годности / Ю.Г. Костенко, Б.Е. Гутник, М.Х. Исаков // Все о мясе. – 2009. – N 6. – С. 18–20.
8. Татарникова, Н.А. Патогенная микрофлора мяса и мясных продуктов / Н.А. Татарникова, О.Г. Мауль // Известия ОГАУ. – 2015. – N 1 (51). – С. 87–89.
9. Тихонов, А.В. Использование радиационных технологий в сельскохозяйственном производстве / А.В. Тихонов, Р.С. Анашкин, А.Е. Крюков

// Сборник научных трудов ГНУ СНИИЖК. – 2013. – N 6. – С. 330–333.

10. Риочи Саката. Тенденция развития технологий и исследований мяса и мясных продуктов в Японии // Все о мясе. – 2015. – N 1. – С. 20–24.

11. Erkan, N. Alternative seafood preservation technologies: ionizing radiation and high pressure processing / N. Erkan, A. Günlü, İ.Y. Genç // Journal of FisheriesSciences.com. – 2014. – N 8 (3). – P. 238–251.

12. Genç, İ.Y. Elimination of food borne pathogens in sea foods by irradiation: Effects on quality and shelf-life / İ.Y. Genç, A. Diler // Journal of Food Science and Engineering. – 2013. – N 3. – P. 99–106.

13. Тимакова, Р.Т. Оценка радиационной безопасности охлажденного мяса с использованием метода электронного парамагнитного резонанса / Р.Т. Тимакова, С.Л. Тихонов, А.Н. Тарарков,

Л.С. Кудряшов // Теория и практика переработки мяса. – 2016. – N 3. – С. 39–47.

Тимакова Роза Темерьяновна, доцент кафедры туристического бизнеса и гостеприимства, к. с.-х. н., ФГБОУ ВО «Уральский государственный экономический университет», 620144, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта, 62, e-mail: trt64@mail.ru, т.: 89122479974

Тихонов Сергей Леонидович, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой пищевой инженерии ФГБОУ ВО «Уральский государственный экономический университет», tihonov75@bk.ru, т.: 89122769895

Тихонова Наталья Валерьевна, д.т.н., доцент, профессор кафедры пищевой инженерии ФГБОУ ВО «Уральский государственный экономический университет», tihonov75@bk.ru, т.: 89193923709.