

УДК 537.635; 539.166; 53.06

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ЭПР-СПЕКТРОСКОПИЯ МЯСНОГО И РЫБНОГО СЫРЬЯ

Р. Т. Тимакова, кандидат сельскохозяйственных наук

Уральский государственный экономический университет

E-mail: trt64@mail.ru

Ключевые слова: мясо, рыба, идентификация, облучение, ЭПР-сигнал.

Реферат. Распространение радиационных технологий требует осуществления контроля за облученным пищевым сырьем. Опытным путем установлена возможность идентификации облученного мясного и рыбного сырья по костным и мякотным тканям, для рыбного сырья также и по коже с чешуей. Площадь ЭПР-сигнала образцов костной ткани по мясному сырью и образцов чешуи с кожей по рыбному сырью наиболее чувствительна к изменению амплитуды с высокой степенью корреляции (до 0,99).

COMPARATIVE EPR SPECTROSCOPY OF MEAT AND FISH RAW MATERIALS

R. T. Timakova, candidate of agricultural Sciences

Ural state University of Economics

Key words: meat, fish, identification, irradiation, EPR signal.

Abstract. The spread of radiation technologies requires the control of irradiated food raw materials. The possibility of identification of irradiated meat and fish raw materials by bone and pulp tissues, for fish raw materials also by skin with scales has been Experimentally established. The area of the EPR signal of samples of bone tissue in meat raw materials and samples of scales from the fish skin the raw materials most sensitive to amplitude variations with a high degree of correlation (up to 0.99).

Потери сельскохозяйственной продукции в процессе выращивания, производства, переработки и хранения (до 30 % всей выращенной продукции) наносят существенный урон всей мировой экономике. На протяжении многовековой истории жизнедеятельности человечества видоизменялась и технология сохранения сельскохозяйственного сырья и пищевых продуктов, начиная с воздействия холодом, сушкой до современных методов консервации. Различные способы хранения базируются на установлении взаимосвязей между пищевыми продуктами и окружающей средой путем создания наиболее благоприятных условий для хранящихся пищевых продуктов (оптимальный режим хранения) и неблагоприятных условий – для других живых компонентов окружающей среды (микроорганизмы, насекомые и др.). На принципе абиоза (т.е. полного прекращения жизнедеятельности микроорганизмов) основаны методы стерилизации продукции: тепловые, лучевые, химические и механические.

Активное распространение во всем мире радиационной обработки продовольственного сырья позволяет снижать эти потери на всех этапах производственной пищевой цепочки, начиная от забоя скота, вылова рыбы и морепродуктов до реализации на розничном потребительском рынке. Пищевая промышленность и сельское хозяйство являются растущим сегментом по применению радиационных технологий. Агропромышленный комплекс необходимо рассматривать как стратегически важный кластер с точки зрения национальной и продовольственной безопасности, с одной стороны, а с другой – в перспективе как высокотехнологичный и инновационно направленный [1]. За последние годы в России отмечается увеличение производства мяса птицы и убойных животных, отечественный рынок полностью покрывает потребности в свинине и птице, предприятия агропромышленного комплекса (АПК) занимаются расширением рынков сбыта путем выхода на внешние рынки. Для удовлетворения растущего спроса на свежие продукты применение ионизирующего излучения, как нетепловой технологии, позволит продлить сроки хранения и обеспечить микробиологическую безопасность продукции [2, 3]

при неизменном агрегатном состоянии самого продукта. Возможность обработки ионизирующим излучением одномоментно больших партий, как упакованных, так и неупакованных, является перспективным направлением для обработки охлажденного мясного и рыбного сырья, идущего на нужды Вооруженных сил РФ, военно-промышленного комплекса, космической отрасли. Исследования ВОЗ подтверждают, что облучение продуктов питания с мощностью дозы до 10 000 Зв не влияет на их безопасность и питательную ценность [4].

Национальные стандарты Российской Федерации, регламентирующие процессный подход к облучению продовольственного сырья и пищевых продуктов и контролю процесса облучения, разработаны с учетом нормативных положений аналогичных международных стандартов и в основном идентичны зарубежным аналогам.

В нашей стране технология обработки пищевых продуктов ионизирующим излучением, в том числе мяса и рыбы, вводится поэтапно. Так, с 1 июля 2017 г. введены в действие следующие межгосударственные стандарты:

- 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.

В указанных нормативных документах представлена информация о технологии обработки ионизирующим облучением и установлен регламент до и после процедуры облучения.

С 2019 г. вводится в действие стандарт, регламентирующий технологию облучения для рыбы и морепродуктов – ГОСТ 34154–2017. Руководство по облучению рыбы и морепродуктов с целью подавления патогенных и вызывающих порчу микроорганизмов (идентичен ASTM F 1736–09).

Идентификация облученного продовольственного сырья и пищевых продуктов за рубежом осуществляется разными методами: газохроматографическим, термолюминесцентным, флуоресцентным, кометным и методом электронного парамагнитного резонанса (ЭПР). Н. Anderle [5] отмечает сопоставимость этих методов, но измерение методом ЭПР более эффективно, что подтверждается результатами исследований А.А. Ansari [6], установившего после облучения разными дозами различные спектры ЭПР. Обнаружение облученных пищевых продуктов базируется в основном на радиолизе липидов, модификации аминокислот, ДНК и углеводов, образовании свободных радикалов [7] и присутствии анионов CO_2^- , CO_3^{3-} , SO_2^- и SO_3^- [8].

В России регламентирована идентификация только по методу ЭПР: ГОСТ Р 52529–2006. Мясо и мясные продукты. Метод электронного парамагнитного резонанса для выявления радиационно-обработанных мяса и мясopодуlктов, содержащих костную ткань; ГОСТ 31652–2012. Пищевые продукты. Метод электронного парамагнитного резонанса для выявления радиационно-обработанных продуктов, содержащих кристаллический сахар; ГОСТ 31672–2012. Пищевые продукты. Метод электронного парамагнитного резонанса для выявления радиационно-обработанных продуктов, содержащих целлюлозу. Нормативная документация аналогична зарубежным методикам.

ЭПР-спектроскопия обусловлена тем, что под воздействием ионизирующего излучения происходит цепная реакция возбуждения молекул с появлением высокоактивных свободных радикалов и является сигнал, который фиксируется с помощью ЭПР-спектрометра. Радиационно-индуцированный сигнал может быть обнаружен в течение длительного времени после облучения пищевой продукции [9]. А.В. Тихонов и др. [10], А.Е. Goulas et al. [11] выявили, что через 2 года с момента облучения у 44–75 % образцов костной ткани сохраняется исходный ЭПР-спектр.

D. W.M. Sin et al. [12] применяли метод ЭПР для обнаружения факта облучения в костной ткани сельскохозяйственных животных, птицы, рыбы и раковин моллюсков. В то же время облучается и продукция, не содержащая костную ткань, которую также необходимо идентифицировать как облученную или необлученную.

Обобщение результатов собственных исследований позволяет сделать выводы, что основные параметры ЭПР-сигнала (амплитуда, ширина, площадь) зависят от дозовых характеристик [13,14], но не установлена сравнительная вероятность идентификации факта облучения/необлучения по разным частям мясного и рыбного сырья.

Цель исследования – выявление зависимости интенсивности ЭПР-сигнала для облученных образцов разных частей продукции животноводства и рыболовства (костная часть – ОКТ, мякотная часть – ОМТ, чешуя и кожа рыбного сырья – ОКЧ).

В качестве методологической базы для идентификации обработанного разными дозами сырья, в том числе и рыбы (ввиду отсутствия ГОСТа по рыбе и рыбным продуктам), были приняты основные положения, которые содержатся в ГОСТ Р 52529–2006. Мясо и мясные продукты. Метод электронного парамагнитного резонанса для выявления радиационно-обработанных мяса и мясoproductов, содержащих костную ткань.

Для облучения взяты охлажденные образцы говядины, свинины, тушки кур, рыба (карп).

До начала проведения эксперимента были сформированы контрольные и опытные образцы мясного и рыбного сырья. Для чистоты эксперимента контрольные образцы, не облученные в ходе эксперимента, были исследованы методом электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) для подтверждения или отрицания факта облучения до проведения настоящих исследований. Установлено, что контрольные образцы мясного и рыбного сырья не были ранее облучены, что подтверждается отсутствием характерных ЭПР-спектров.

В ходе эксперимента опытные образцы подвергались воздействию ионизирующего излучению дозой 12 кГр. Исследование проводилось путем сравнительного анализа основных параметров ЭПР спектра: амплитуда, ширина и площадь.

На рис. 1–3 видно, насколько отличны спектры ЭПР ОКТ говядины, свинины, птицы по сравнению с ЭПР-спектрами ОМТ.

При исследовании образцов костной ткани и образцов мякотной ткани говядины, облученных 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 пика $(6,94 \pm 0,02) \cdot 10^{-3}$ отн. ед. для ОКТ и амплитудой пика $(1,51 \pm 0,06) \cdot 10^{-4}$ отн. ед., шириной сигнала $11,82 \pm 0,41$ Гс, площадью пика $(3,00 \pm 0,03) \cdot 10^{-3}$ отн. ед. для ОМТ соответственно ($P \leq 0,05$) (см. рис. 1). ЭПР-сигналы ОКТ облученной дозой 12 кГр говядины отличаются более высокими показателями амплитуды – в 3,4 раза и площади – в 2,3 при сужении ширины на 42,1 % по сравнению с ОМТ говядины.

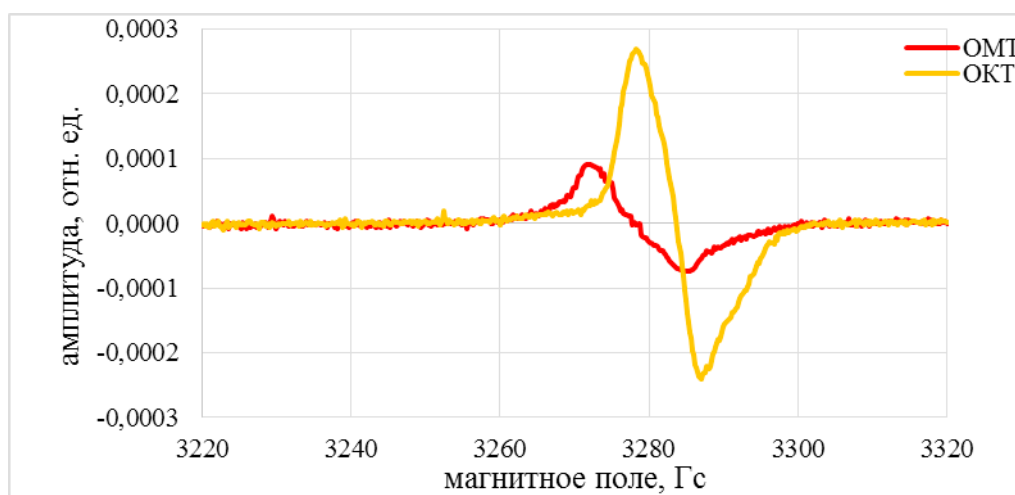


Рис. 1. Спектры ОКТ (g -фактор $2,0026 \pm 0,0001$) и ОМТ (g -фактор $2,0059 \pm 0,0003$) говядины, облученной дозой 12 кГр

После облучения образцов костной ткани и образцов мякотной ткани свинины дозой 12 кГр в диапазоне поля 3260–3285 Гс появляется четкий ЭПР-сигнал. Амплитуда пика составляет $(4,8 \pm 0,01) \cdot 10^{-4}$ отн. ед., ширина сигнала – $8,38 \pm 0,02$ Гс и площадь пика – $(6,73 \pm 0,29) \cdot 10^{-3}$ отн. ед. для ОКТ и амплитуда пика – $(1,01 \pm 0,01) \cdot 10^{-4}$ отн. ед., ширина сигнала – $15,25 \pm 0,12$ Гс и площадь пика – $(6,79 \pm 0,08) \cdot 10^{-3}$ отн. ед. для ОМТ ($P \leq 0,05$) (см. рис.2). ЭПР-сигналы ОКТ облученной дозой 12 кГр свинины отличаются более высокими показателями амплитуды – в 4,8 раза и за счет сужения ширины сигнала на 82,0 % наблюдается практически одинаковый показатель площади – при разнице в 0,9 % по сравнению с ОМТ свинины.

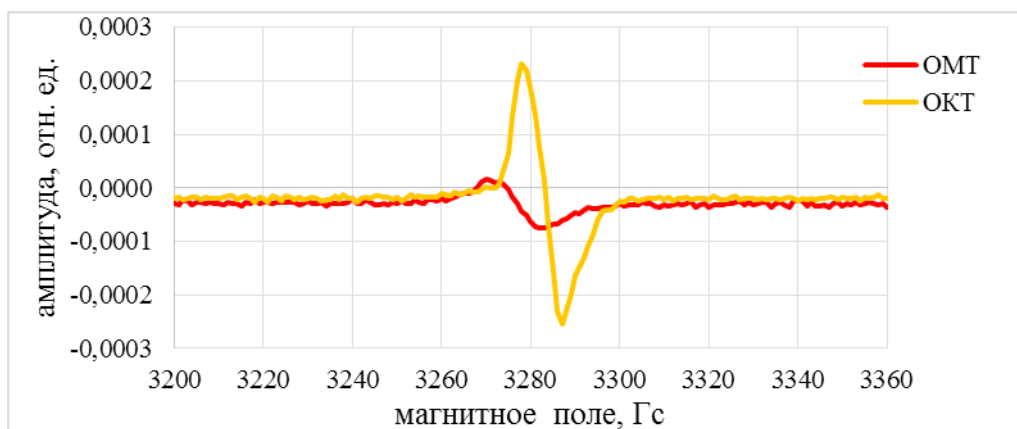


Рис. 2. Спектры ОКТ (g-фактор $2,0002 \pm 0,0001$) и ОМТ (g-фактор $1,9994 \pm 0,0002$) свинины, облученной дозой 12 кГр

Облучение образцов костной и мякотной ткани 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 и площадью пика $(3,68 \pm 0,04) \cdot 10^{-3}$ отн. ед. для ОКТ и с амплитудой пика $(7,82 \pm 0,22) \cdot 10^{-5}$ отн. ед., шириной сигнала $10,57 \pm 0,24$ Гс и площадью пика $(1,12 \pm 0,02) \cdot 10^{-3}$ отн. ед. для ОМТ ($P \leq 0,05$) (см. рис. 3). ЭПР-сигналы ОКТ облученного дозой 12 кГр мяса птицы отличаются более высокими показателями амплитуды – в 1,4 раза, ширины сигнала – на 14,0% и площади – в 3,3 раза по сравнению с ОМТ мяса птицы.

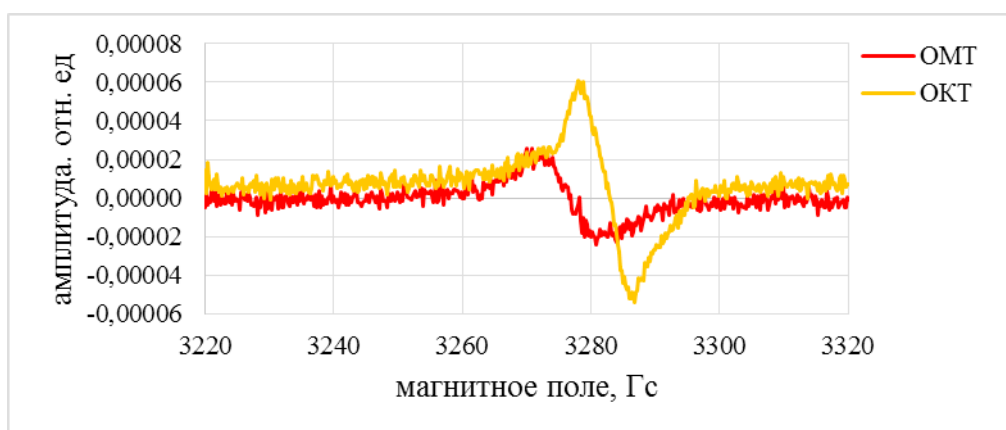


Рис. 3. Спектры ОКТ (g-фактор $2,0029 \pm 0,0001$) и ОМТ (g-фактор $2,0060 \pm 0,0005$) мяса птицы, облученного дозой 12 кГр

Рисунок 4 позволяет увидеть, насколько отличны ЭПР-спектры ОКТ, ОМТ и ОКЧ рыбы охлажденной при облучении дозой 12 кГр. В отличие от мясного сырья, при исследовании рыбы охлажденной были исследованы и кожа с чешуей, которые в виде наружного покрова обладают высокими барьерными свойствами. Чешуя охлажденного карпа представляет собой костные образования в виде крупных жестких «лепестков».

Зафиксированы ЭПР-сигналы со следующими параметрами: амплитуда пика составляет $(3,40 \pm 0,06) \cdot 10^{-5}$ отн. ед., ширина сигнала равна $12,76 \pm 0,03$ Гс, площадь пика достигла значения $(1,17 \pm 0,01) \cdot 10^{-3}$ отн. ед. для ОКТ ($P \leq 0,05$). После облучения охлажденной рыбы дозой 12 кГр амплитуда пика равна $(1,26 \pm 0,06) \cdot 10^{-4}$ отн. ед., ширина пика сигнала – $9,06 \pm 0,08$ Гс, площадь пика – $(1,42 \pm 0,06) \cdot 10^{-3}$ отн. ед. для ОКЧ; амплитуда пика – $(8,56 \pm 0,81) \cdot 10^{-5}$ отн. ед., ширина пика сигнала – $10,31 \pm 0,15$ Гс, площадь пика – $(1,31 \pm 0,16) \cdot 10^{-3}$ отн. ед. для ОМТ ($P \leq 0,05$).

Наиболее значительные изменения отмечены в мясе и коже рыбы, что объясняется наибольшей восприимчивостью к поглощению ионизирующего излучения мягкими (мясо) и поверхностными (кожа с чешуей) тканями.

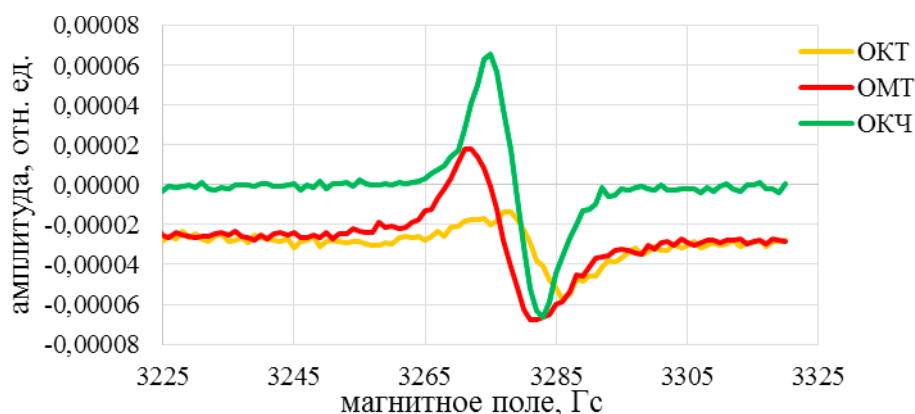


Рис. 4. Спектры ОКТ (g-фактор $2,0048 \pm 0,0001$), ОМТ (g-фактор $0,0063 \pm 0,0007$) и ОКЧ (g-фактор $2,0051 \pm 0,0002$) рыбы, облученной дозой 12 кГр

Результаты исследований образцов разных частей свинины, говядины, птицы и рыбы после обработки ионизирующим излучением показывают, что амплитуда ЭПР-сигнала образцов костной ткани свинины, говядины и птицы отлична от амплитуды ЭПР-сигнала образцов мякотной части и наиболее четко просматривается по образцам свинины и говядины. В то же время для рыбы наблюдается более высокий размах амплитуды ЭПР-сигнала по образцам кожи с чешуей (рис. 5).

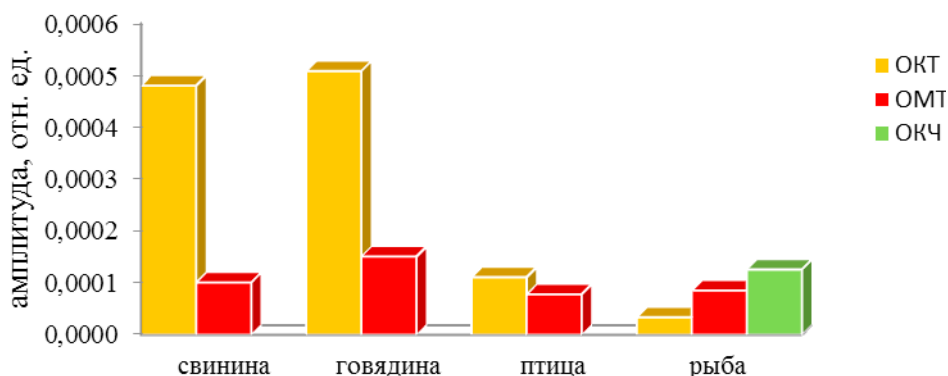


Рис. 5. Амплитуда ЭПР-сигналов образцов костной ткани, образцов мякотной ткани, образцов кожи с чешуей мясного и рыбного сырья, облученного дозой 12 кГр

Результаты исследований образцов разных частей свинины, говядины, птицы и рыбы после обработки ионизирующим излучением показывают, что в образцах мякотной ткани свинины и говядины отмечается уширение сигнала по сравнению с образцами костной ткани. По образцам птицы более широкий сигнал наблюдается в образцах костной ткани. По рыбе наблюдается обратная пропорциональная зависимость: при более высоких показателях амплитуды в образцах кожи с чешуей наблюдается более узкий сигнал, при самых низких показателях амплитуды в образцах костной ткани наблюдается более широкий ЭПР-сигнал (рис. 6).

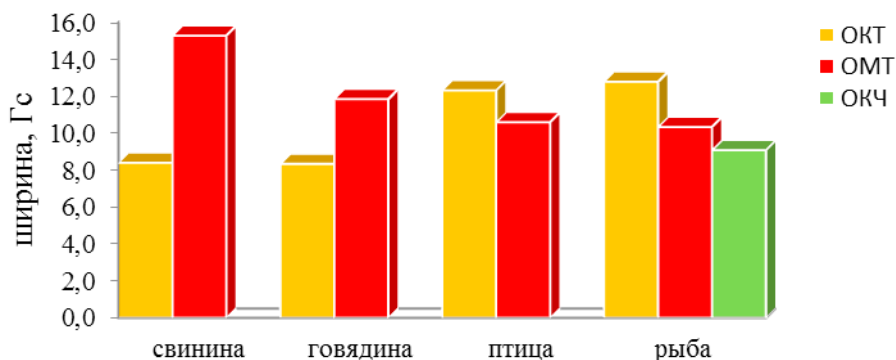


Рис. 6. Ширина ЭПР-сигналов образцов костной ткани, образцов мякотной ткани, образцов кожи с чешуей мясного и рыбного сырья, облученных дозой 12 кГр

Изменения таких параметров ЭПР-сигнала, как амплитуда и ширина пика ЭПР-сигнала, сопоставимы с изменением площади ЭПР-сигнала в образцах свинины; в образцах говядины и птицы показатели площади ЭПР-сигнала наиболее высокие в образцах костной ткани за счет более высоких значений амплитуды, а в образцах рыбы показатели площади ранжируются от более высоких показателей по образцам кожи с чешуей до более низких показателей по образцам костной ткани (рис. 7).

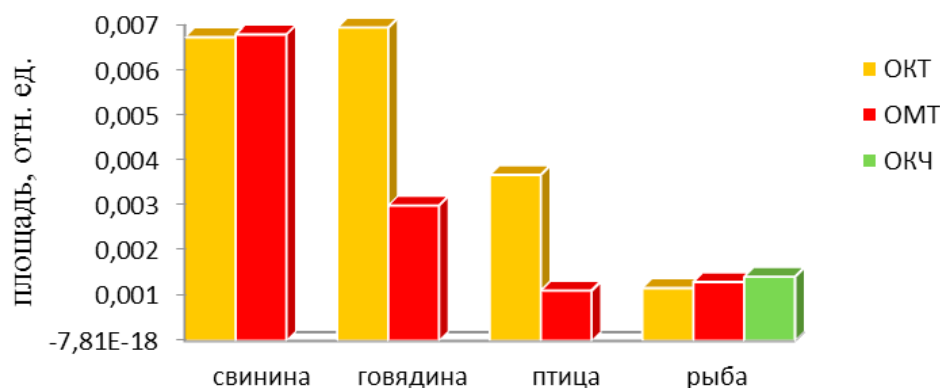


Рис. 7. Площадь ЭПР-сигналов образцов костной ткани, образцов мякотной ткани, образцов кожи с чешуей мясного и рыбного сырья, облученного дозой 12 кГр

В результате проведенных исследований и сопоставления полученных результатов по образцам костной и мякотной ткани, а также образцам кожи чешуей (по рыбе) можно сделать следующие выводы:

- образцы костной ткани для мясного сырья и образцы кожи с чешуей для рыбного сырья в отличие от образцов образцов мякотной ткани в результате воздействия ионизирующего излучения отличаются более высокими показателями амплитуды и площади сигнала, а также более узким ЭПР-спектром в говядине и свинине в отличие от более широкого сигнала в образцах костной ткани птицы и рыбы;
- изменение параметров ЭПР-сигнала облученных дозой 12 кГр разных видов мясного и рыбного сырья обусловлено видовой принадлежностью и различием физических свойств среды: твердостью и плотностью костной ткани; упругостью, электро- и теплопроводностью мякотной ткани;
- площадь ЭПР-сигнала образцов костной ткани по мясному сырью и образцов чешуи с кожей по рыбе наиболее чувствительна к изменению амплитуды с высокой степенью корреляции (до 0,99), корреляция площади ЭПР-сигнала образцов мякотной части с изменениями амплитуды имеет более низкое значение – до 0,89;
- по образцам рыбного сырья более высокие показатели площади ЭПР-сигнала в коже с чешуей обусловлены тем, что чешуя более плотная по сравнению с костной тканью.

Таким образом, опытным путем установлено, что в условиях отсутствия нормативно-законодательных актов для выявления радиационно-обработанного рыбного сырья методом электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) и для выявления радиационно-обработанных мясного и рыбного сырья по мякотным тканям возможно проведение идентификации облученного мясного и рыбного сырья методом ЭПР как по костной ткани (для рыбного сырья и по коже с чешуей), так и по мякотной ткани. Для идентификации рыбного сырья целесообразно проводить исследования по коже с чешуей. При исследовании необходимо руководствоваться требованиями ГОСТ Р 52529–2006. Мясо и мясные продукты. Метод электронного парамагнитного резонанса для выявления радиационно-обработанных мяса и мясопродуктов, содержащих костную ткань.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алетдинова А. А. От прорывных технологий к инновационному развитию агропромышленных кластеров // Инновации и продовольственная безопасность. – 2017. – № 2 (16) – С. 7–13.
2. Pillai S. D., Shayanfar S. Electron beam processing of fresh produce – A critical review // Radiation physics and chemistry. – 2018. – Vol. 143. – P. 85–88.

3. *Benchmarking the minimum Electron Beam (eBeam) dose required for the sterilization of space foods / S. S. Bhatia, K. R. Wall, C. R. Chris [et al.] // Radiation physics and chemistry. – 2018. – Vol. 143. – P. 72–78.*
4. *Ansari A. A. Radiation Threats and Your Safety: A Guide to Preparation and Response for Professionals and Community. – CRC Press, 2010. – 344 p.*
5. *Anderle H. Detection and dosimetry of irradiated biominerals with thermoluminescence, radioluminescence and electron spin resonance measurements: comparison of methods // Radiation Measurements. – 1998. – N 5 (29). – P. 531–551.*
6. *Ukai M. Electron spin resonance spectroscopy in food radiation research // JEOL News. – 2004. – Vol. 39, N 1. – P. 24–27.*
7. *Detection Methods for Irradiated Foods / S. K. Chauhan, R. Kumar, S. Nadanasabapathy, A. S. Bawa // Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. Institute of Food Technologists. – 2009. – Vol. 8. – P. 4–16.*
8. *Радиационная обработка как технологический прием в целях повышения уровня продовольственной безопасности / Т. В. Чиж, Г. В. Козьмин, Л. П. Полякова, Т. В. Мельникова // Вестн. Рос. акад. естеств. наук. – 2011. – № 4. – С. 44–49.*
9. *The use of electron spin resonance spectroscopy for the detection of irradiated mackerel. / F. Abdel-Rehim [et al.] // Applied Radiation and Isotopes/ – 1997. – Vol. 48, Is. 2. – P. 241–245.*
10. *Тихонов А. В., Анашкин Р. С., Крюков А. Е. Использование радиационных технологий в сельскохозяйственном производстве // Сб. науч. тр. ГНУ СНИИЖК. – 2013. – № 6. – С. 330–333.*
11. *Goulas A. E., Stahl M., Riganakos K. A. Effect of various parameters of irradiated fish and oregano using the ESR and PSL methods // Food Control. – 2008. – P. 1076–1085.*
12. *Identification and stability study of irradiated chicken, pork, beef, lamb, fish and mollusks by electron paramagnetic resonance (EPR) spectroscopy / D. W. M. Sin, Yiu-chung Wong, Wai-yin Yao M., E. Marchioni // European Food Research and Technology. – 2005. – № 221. – P. 684–691.*
13. *Use of the method of electron paramagnetic resonance for determination of absorbed doses of ionizing radiation of different types of meat and fish raw materials/ R. T. Timakova, S. L. Tikhonov, N. V. Tikhonova, V. M. Poznyakovskiy // Foods and Raw Materials. – 2017. – Vol. 5, N. 2. – P. 162–169. – DOI:10.21179/2308–4057–2017–2–162–169.*
14. *Тимакова Р. Т., Тихонов С. Л., Тихонова Н. В. Разработка методики определения поглощенных доз для разных видов радиационно-обработанного мяса // Ползуновский вестник. – 2017. – № 1. – С. 13–18.*

REFERENCES

1. *Aletdinova A. A. Ot proryivnyih tehnologiy k innovatsionnomu razvitiyu agropromyshlennyih klasterov // Innovatsii i prodovolstvennaya bezopasnost. – 2017. – N 2 (16) – S. 7–13.*
2. *Pillai S. D., Shayanfar S. Electron beam processing of fresh produce – A critical review // Radiation physics and chemistry. – 2018. – Vol. 143. – P. 85–88.*
3. *Benchmarking the minimum Electron Beam (eBeam) dose required for the sterilization of space foods / S. S. Bhatia, K. R. Wall, C. R. Chris [et al.] // Radiation physics and chemistry. – 2018. – Vol. 143. – P. 72–78.*
4. *Ansari A. A. Radiation Threats and Your Safety: A Guide to Preparation and Response for Professionals and Community. CRC Press, 2010. – 344 p.*
5. *Anderle H. Detection and dosimetry of irradiated biominerals with thermoluminescence, radioluminescence and electron spin resonance measurements: comparison of methods // Radiation Measurements. – 1998. – N 5 (29). – P. 531–551.*
6. *Ukai M. Electron spin resonance spectroscopy in food radiation research / M. Ukai // JEOL News. – 2004. – Vol. 39. – N 1. – P. 24–27.*
7. *Detection Methods for Irradiated Foods / S. K. Chauhan, R. Kumar, S. Nadanasabapathy, A. S. Bawa // Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. Institute of Food Technologists. – 2009. – Vol. 8. – P. 4–16.*
8. *Radiatsionnaya obrabotka kak tehnologicheskii priem v tselyah povysheniya urovnya prodovolstvennoy bezopasnosti / T. V. Chizh, G. V. Kozmin, L. P. Polyakova, T. V. Melnikova // Vestn. Ros. akad. estestv. nauk. – 2011. – N 4. – S. 44–49.*

9. The use of electron spin resonance spectroscopy for the detection of irradiated mackerel. /F. Abdel-Rehim [et al.] // *Applied Radiation and Isotopes* – 1997. – Vol. 48, Is. 2. – P. 241–245.
10. Tihonov A.V., Anashkin R.S., Kryukov A.E. Ispolzovanie radiatsionnykh tekhnologiy v selskohozyaystvennom proizvodstve // *Sb. nauch. tr. GNIIZhK* – 2013. – N 6. – S.330–333.
11. Goulas A.E., Stahl M., Riganakos K.A. Effect of various parameters of irradiated fish and oregano using the ESR and PSL methods // *Food Control*. – 2008. – P.1076–1085.
12. Identification and stability study of irradiated chicken, pork, beef, lamb, fish and mollusks by electron paramagnetic resonance (EPR) spectroscopy / D. W.M. Sin, Yiu-chung Wong, Wai-yin Yao M., E. Marchioni// *European Food Research and Technology*. – 2005. – N 221. – P. 684–691.
13. Use of the method of electron paramagnetic resonance for determination of absorbed doses of ionizing radiation of different types of meat and fish raw materials/ R.T. Timakova, S.L. Tikhonov, N.V. Tikhonova, V.M. Poznyakovskiy // *Foods and Raw Materials*. – 2017. – Vol. 5, N. 2. – P. 162–169. – DOI:10.21179/2308–4057–2017–2–162–169.
14. Timakova R. T., Tihonov S. L., Tikhonova N. V Razrabotka metodiki opredeleniya pogloschennykh doz dlya raznykh vidov radiatsionno-obrabotannogo myasa // *Polzunovskiy vestnik*. – 2017 – N 1- S. 13–18.