

# Гигиена питания

© КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ, 2018

УДК 614.31:637.5:639.3

Тимакова Р.Т.<sup>1</sup>, Тихонов С.Л.<sup>1</sup>, Евдокимова О.В.<sup>2</sup>, Бутенко И.В.<sup>3</sup>

## ЗАВИСИМОСТЬ ПАРАМЕТРОВ ЭПР-СПЕКТРА ОТ ВИДА МЯСА И РЫБЫ, ОБРАБОТАННЫХ ИОНИЗИРУЮЩИМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Уральский государственный экономический университет», 620144, Екатеринбург;<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева», 302028, Орёл;<sup>3</sup>ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет экономики и торговли», 3302028, Орёл

Регламентация использования ионизирующего излучения для обработки пищевой продукции и сельскохозяйственного сырья на территории РФ с 2017 г. предполагает широкое распространение радиационных технологий в пищевой промышленности, но производители пищевой продукции, обработанной ионизирующим излучением, не указывают на маркировке соответствующую информацию. Поэтому выявление на отечественном потребительском рынке пищевой продукции, обработанной ионизирующим излучением, позволит сократить количество нарушений требований Межгосударственного стандарта ГОСТ 33800 – 2016 «Производство пищевой облучённой. Общие требования к маркировке». Для установления факта облучения продовольственного сырья и пищевых продуктов применяется метод электронного парамагнитного резонанса (ЭПР), при этом каждая пищевая продукция, облучённая ионизирующим излучением, имеет свой характерный ЭПР-спектр. В связи с этим целью исследований является выявление зависимости параметров ЭПР-спектра от вида мяса, рыбы и птицы, обработанных ионизирующим излучением. Образцы костной ткани мяса, рыбы и птицы подвергали радиационной обработке линейным ускорителем электронов модели УЭЛР-10-10С2 с энергией до 10 МэВ. Исследования образцов проводили на портативном автоматизированном спектрометре ЭПР марки Labrador Expert X-диапазона. Установлено, что несмотря на обработку образцов костной ткани одинаковой дозой ионизирующего облучения (12 кГр), параметры ЭПР сигнала зависят от вида позвоночных животных, структуры ткани образца и других факторов. Образцы костной ткани говядины и свинины отличаются более высокой чувствительностью к облучению. Зафиксирована устойчивая корреляционная зависимость увеличения площади ЭПР-сигнала от параметров сигнала: по амплитуде – 0,99, по ширине пика сигнала соответственно – 0,979 (степень силы статистической связи по Чеддоку очень высокая). Обработка полученных результатов ЭПР-спектра даёт возможность с высокой степенью достоверности ( $p \leq 0,05$ ) идентифицировать как необлучённые ранее, так и радиационно-обработанные разные виды мяса, рыбы и птицы.

Ключевые слова: ионизирующее излучение; образцы костной ткани; мясо; рыба; птица; ЭПР-сигнал.

**Для цитирования:** Тимакова Р.Т., Тихонов С.Л., Евдокимова О.В., Бутенко И.В. Зависимость параметров ЭПР-спектра от вида мяса и рыбы, обработанных ионизирующим излучением. *Гигиена и санитария*. 2018; 97(9): 873-876. DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2018-97-9-873-876>

**Для корреспонденции:** Тихонов Сергей Леонидович, доктор технич. наук, проф., зав. каф. пищевой инженерии, ФГБОУ ВО «Уральский государственный экономический университет. E-mail: [tihonov75@bk.ru](mailto:tihonov75@bk.ru).

Timakova R. T.<sup>1</sup>, Tikhonov S. L.<sup>1</sup>, Evdokimova O. V.<sup>2</sup>, Butenko I. V.<sup>3</sup>

## DEPENDENCE OF ELECTRON PARAMAGNETIC RESONANCE (EPR) SPECTRUM PARAMETERS ON THE KIND OF MEAT AND FISH TREATED BY IONIZING RADIATION

<sup>1</sup>Ural State Economic University, 620144, Ekaterinburg, Russian Federation;<sup>2</sup>I.S. Turgenev Orel State University, Orel, 302028, Russian Federation;<sup>3</sup>Orlovsky State University of Economics and Trade, Orel, 302028, Russian Federation

Regulation of the use of ionizing radiation for treating food products and agricultural raw materials in Russia in 2017 suggests a wide dissemination of radiation technologies in the food industry, but manufacturers of food products processed by ionizing radiation do not indicate on the label the relevant information. Because of this, the identification of the domestic consumer market of food products processed by ionizing radiation will reduce the number of violations of requirements of state standard State standards (GOST) 33800-2016 "Production of food irradiated. General labeling requirements". To determine whether irradiation of food raw materials and foodstuff, used the method of electron paramagnetic resonance (EPR), with each of the food products treated by ionizing radiation has its own characteristic EPR spectrum. In this regard, the aim of the research is to identify the dependence of the parameters of the EPR spectrum from meat, fish and poultry treated with ionizing radiation. Samples of bone tissue (SBT) meat, fish and poultry were subjected to radiation treatment with a linear electron accelerator model UELR-10-10C2 with energies up to 10 MeV. Studies of samples were carried out on the portable automated EPR spectrometer brand Labrador Expert X-band. Found that despite treatment samples of bone tissue with the same dose of ionizing radiation (12 kGy), the EPR signal depends on the type of vertebrates, the structure of the tissue sample, and other factors. Bone samples of beef and pork have a higher sensitivity to irradiation. Recorded a steady correlation between increasing the area of the EPR signal parameters: amplitude is 0.99, the width of the peak signal, respectively 0.979

(the degree of strength of statistical relationships Chedoke very high). Processing of the obtained results of the EPR spectrum provides a high degree of confidence ( $p \leq 0.05$ ) to identify how previously non-irradiated and radiation-processed various meats, fish and poultry.

**Key words:** ionizing radiation; samples of bone tissue; meat; fish; poultry; EPR signal.

**For citation:** Timakova R.T., Tikhonov S.L., Evdokimova O.V., Butenko I.V. Dependence of electron paramagnetic resonance EPR-spectrum parameters on the kind of meat and fish treated by ionizing radiation. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)* 2018; 97(9): 873-876. (In Russ.). DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2018-97-9-873-876>

**For correspondence:** Sergei L. Tikhonov, MD, Ph.D., DSci., professor, Head of the Department of food engineering of the Ural State Economic University, Yekaterinburg, 620144, Russian Federation. E-mail: [thionov75@bk.ru](mailto:thionov75@bk.ru).

**Information about authors:**

Timakova R.T., <http://orcid.org/0000-0002-4777-1465>; Tikhonov S.L., <http://orcid.org/0000-0002-8429-7682>; Evdokimova O.V., <http://orcid.org/0000-0002-7548-3971>; Butenko I.V., <http://orcid.org/0000-0002-4964-2347>;

*Conflict of interest.* The authors declare no conflict of interest.

*Acknowledgment.* The study had no sponsorship.

Received: 23 June 2017

Accepted: 24 April 2018

В России потери охлаждённого мяса и рыбы в процессе хранения составляют 0,1–0,2% от общего объёма производства и добычи. За рубежом для увеличения срока хранения пищевую продукцию обрабатывают ионизирующим излучением [1]. Важнейшими преимуществами консервирования пищевых продуктов путём радиационной обработки в сравнении с традиционными способами является существенное увеличение их срока годности при низких энергетических и денежных затратах [2, 3], при этом радиационная обработка может являться критической контрольной точкой, а облучение продуктов как перспективное направление может быть оформлено как часть плана системы НАССР [4, 5].

Исследованиями [6–9] установлено, что обработка мяса ионизирующим излучением подавляет рост микроорганизмов, бактерий группы кишечной палочки, плесени и дрожжей. Вместе с тем, облучение пищевых продуктов со значительным содержанием жира может привести к ухудшению органолептических показателей [10]. При этом среди учёных нет единого мнения о рекомендуемых дозах облучения мяса, рыбы и вообще оправданности широкомасштабного применения радиационной обработки пищевых продуктов и продовольственного сырья. Несмотря на это, в настоящее время разрешена обработка ионизирующим излучением более 100 наименований пищевых продуктов, в том числе мяса и рыбы.

В связи с этим в Российской Федерации активно формируется национальная нормативная база по применению ионизирующего излучения пищевых продуктов. Так, с января 2017 г. действуют межгосударственные стандарты: ГОСТ 33271–2015 «Пряности сухие, травы и приправы овощные. Руководство по облучению в целях борьбы с патогенными и другими микроорганизмами», устанавливающий диапазоны минимальных доз облучения для пряностей; ГОСТ 33302–2015 «Производство сельскохозяйственной свежая. Руководство по облучению в целях фитосанитарной обработки» с приведённым списком биологических видов вредителей, имеющих карантинное значение; ГОСТ 33339–2015 «Радиационная обработка пищевых продуктов».

С 01 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» и ГОСТ 33825–2016 «Полуфабрикаты из мяса упакованные. Руководство по облучению для уничтожения паразитов, патогенных и иных микроорганизмов», в которых представлена информация о технологии обработки ионизирующим излучением мяса свежего и мороженого, полуфабрикатов из мяса; сведения о радиационной чувствительности основных вегетативных патогенных бактерий, обнаруживаемых в продукте: *Campylobacter*, *Escherichia coli*, *Listeria* и др. Межгосударственный стандарт ГОСТ 33800 – 2016 «Производство пищевая облучённая. Общие требования к маркировке» устанавливает требования к маркировке пищевой продукции, подвергнутой

радиационной обработке ионизирующим излучением, словами «радиационно обработано», «облучено» или «обработано ионизирующим излучением», в том числе и если обработан только отдельный составной ингредиент пищевого продукта. В товаросопроводительных документах должны быть указаны данные об используемом оборудовании, с помощью которого проводилось облучение, дата облучения, доза облучения и номер партии.

Но производители пищевой продукции, обработанной ионизирующим излучением, не указывают на маркировке соответствующую информацию. Следовательно, выявление на отечественном потребительском рынке пищевой продукции, обработанной ионизирующим излучением, позволит сократить количество нарушений требований Межгосударственного стандарта ГОСТ 33800–2016 «Производство пищевая облучённая. Общие требования к маркировке».

Для установления факта облучения продовольственного сырья и пищевых продуктов применяется метод электронного парамагнитного резонанса (ЭПР). Авторы [11] отмечают, что установление факта облучения методом ЭПР возможно из-за присутствия долговечных свободных радикалов, и прежде всего радикальных анионов  $\text{CO}_2^-$ ,  $\text{CO}_3^{3-}$ ,  $\text{SO}_2^-$  и  $\text{SO}_3^-$ .

Спектроскопия ЭПР заключается в следующем: под воздействием ионизирующего излучения происходит цепная реакция возбуждения молекул с появлением высокоактивных свободных радикалов и появляется сигнал – ЭПР-спектр, фиксируемый с помощью спектрометра [12, 13]. При этом радиационно-индуцированный сигнал ЭПР может быть обнаружен в течение длительного времени после облучения пищевой продукции [14]. Авторы [3, 15] выявили, что через 2 года с момента облучения у 44–75% образцов костной ткани сохраняется исходный ЭПР-спектр.

Следует отметить, что каждая пищевая продукция, облучённая ионизирующим излучением, имеет свой характерный ЭПР-спектр.

В связи с этим целью исследований является выявление зависимости параметров ЭПР-спектра от вида мяса и рыбы, обработанных ионизирующим излучением.

## Материал и методы

Образцы охлаждённой говядины и свинины с костью от лопаточной части туши массой 2 кг; мясо кур с костью массой 1,4 кг; карп обыкновенный массой 1,5 кг. Образцы мяса и рыбы подвергали радиационной обработке дозой 12 кГр в Центре радиационной стерилизации (ЦРС) Уральского федерального университета им. первого Президента России Б.Н. Ельцина линейным ускорителем электронов модели УЭЛР-10-10С2. Ускорение электронов осуществляется в ускоряющей структуре, которая является основным узлом оборудования «линии пучка». Ускоряющая структура представляет собой волновод, замедляющий фазовую скорость высокочастотной волны, ускоряющей электроны. В табл. 1 представ-

**Параметры пучка ускоренных электронов линейного ускорителя УЭЛР – 10-10С2**

Параметр	Характеристика
Максимальная энергия ускоренных электронов, МэВ	10
Максимальная выходная мощность ускорителя в номинальном режиме, кВт	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 развёртки на поверхности облучаемых объектов, %	± 5
Частота сканирования электронного пучка, Гц	1–3

лены основные параметры пучка ускоренных электронов линейного ускорителя.

Для контроля дозы после облучения использован метод фотоспектроскопии путём измерения оптической плотности облучённой полимерной пленки на спектрофотометре при длине волны  $512 \pm 2$  нм относительно государственного стандартного образца (ГСО) – детектора поглощённой дозы ГСО СО ПД(Ф) Р-5/50. Диапазон измерений полимерной пленки составляет 5–50 кГр, погрешность – 7–12%.

Подготовку образцов костной ткани (ОКТ) для исследования проводили 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». Указанный метод применим и к образцам костной ткани рыбы с учётом увеличения продолжительности сушки ОКТ до 24–30 ч.

ЭПР-спектрометрию проводили на портативном автоматизированном спектрометре ЭПР марки Labrador Expert X-диапазона при температуре воздуха 18–22 °С в закрытом помещении, атмосферном давлении 746–748 мм рт. ст. и влажности воздуха 45–59% в 10-кратной повторности при частоте облучения 9200 МГц, в диапазоне магнитного поля от 3200 до 3400 Гс с подбором оптимальных значений времени преобразования, амплитуды модуляции, коэффициента усиления. Для сравнения ЭПР-сигналов использовался эталонный образец (высокостабильный эталон): количество парамагнитных центров (КПЦ) на основе оксида марганца. В качестве контрольных образцов исследовали ОКТ необлучённой продукции, в которых не было зафиксировано спектров ЭПР.

Измерение и обработку спектров ЭПР осуществляли с использованием специализированной компьютерной программы к спектрометру ЭПР, что позволило установить параметры ЭПР-спектра для каждого образца костной ткани. Определяли следующие параметры радиационного сигнала: *g*-фактор, амплитуду, ширину и площадь сигнала.

Результаты исследований обработаны методом вариационной статистики с использованием коэффициента Стьюдента.

**Результаты**

В результате исследований установлено отсутствие радикалов в контрольных образцах костной ткани необлучённой свинины, что подтверждается ЭПР-спектром. После облучения образцов костной ткани свинины дозой 12 кГр (*g*-фактор  $2,0002 \pm 0,0001$ ) 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. ( $p \leq 0,05$ ) (рис. 1, см. на 3-й стр. обложки).

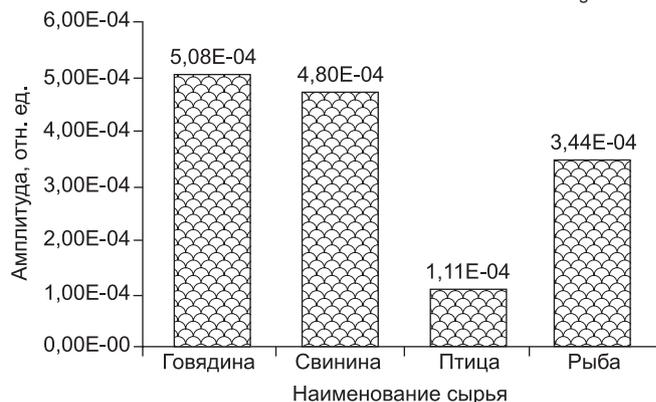


Рис. 5. Амплитуда ЭПР-сигналов ОКТ говядины, свинины, птицы и рыбы, облучённых дозой 12 кГр: ось абсцисс – виды образцов костной ткани, говядины, свинины, птицы и рыбы, облучённых дозой 12 кГр; ось ординат – амплитуда ЭПР-сигналов, отн. ед.

В контрольных образцах необлучённой говядины в результате исследований спектры ЭПР не зафиксированы. При исследовании образцов костной ткани говядины, облучённой дозой 12 кГр (*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. ( $p \leq 0,05$ ) (рис. 2, см. на 3-й стр. обложки).

В контрольных ОКТ птицы отсутствуют ЭПР-сигналы. Облучение ОКТ рыбы дозой 12 кГр (*g*-фактор  $2,0029 \pm 0,0001$ ) (рис. 3, см. на 3-й стр. обложки) 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. ( $p \leq 0,05$ ).

После облучения ОКТ рыбы дозой 12 кГр (*g*-фактор  $2,0047 \pm 0,0001$ ) (рис. 4, см. на 3-й стр. обложки) зафиксированы следующие параметры ЭПР-сигнала в диапазоне поля 3260–3290 Гс: амплитуда пика составляет  $(3,44 \pm 0,07) \cdot 10^{-5}$  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. ( $p \leq 0,05$ ).

Соотношение амплитуды ЭПР-сигнала ОКТ «говядина–свинина–птица–рыба» при облучении дозой облучения 12 кГр составляет 14,8 : 14,0 : 3,2 : 1 (рис. 5).

**Обсуждение**

Результаты исследований ОКТ разного вида животных, птицы и рыбы после обработки ионизирующим излучением дозой 12 кГр продемонстрировали разную восприимчивость к воздействию ионизирующим излучением в силу видовых особенностей группы позвоночных животных (крупный рогатый скот, свиньи, птица, рыба); строения, структуры и состава костной ткани: наиболее восприимчива к поглощению оказалась костная ткань крупного рогатого скота и свиней, а наименее восприимчива – костная ткань птицы и рыбы.

ЭПР-сигналы ОКТ говядины и свинины более узкие в отличие от ОКТ птицы и рыбы. Изменение ширины сигнала может определяться различием физических свойств среды – упругость, электро- и теплопроводность. Соотношение ширины ЭПР-сигнала ОКТ – говядина – свинина – птица – рыба при облучении дозой облучения 12 кГр составляет 0,56 : 0,57 : 0,83 : 1 (рис. 6).

Площадь ЭПР-сигнала образцов костной ткани наиболее чувствительна к изменению амплитуды (выявлена высокая степень корреляции – 0,99), а также к изменению ширины сигнала (коэффициент Пирсона равен 0,979). Соотношение площади ЭПР-сигнала ОКТ говядина – свинина – птица – рыба при облучении дозой 12 кГр равно: 2,3 : 2,2 : 1,2 : 1 (рис. 7).

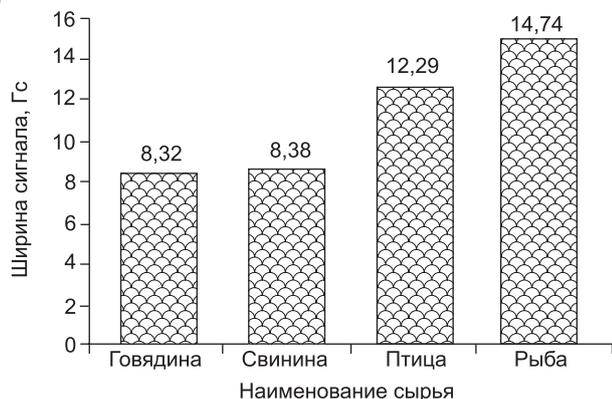


Рис. 6. Ширина ЭПР-сигналов ОКТ говядины, свинины, птицы и рыбы, облученных дозой 12 кГр: ось абсцисс – виды образцов костной ткани, говядины, свинины, птицы и рыбы, облученных дозой 12 кГр; ось ординат – ширина ЭПР-сигналов, Гс.

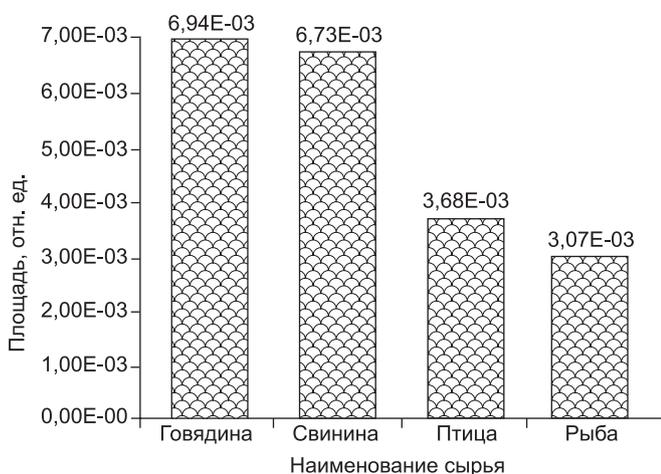


Рис. 7. Площадь ЭПР-сигналов ОКТ говядины, свинины, птицы и рыбы, облученных дозой 12 кГр: ось абсцисс – виды образцов костной ткани, говядины, свинины, птицы и рыбы, облученных дозой 12 кГр; ось ординат – площадь ЭПР-сигналов, отн. ед.

## Заключение

В результате проведенных исследований установлено, что несмотря на обработку ОКТ одинаковой дозой ионизирующего излучения (12 кГр), параметры ЭПР-сигнала зависят от вида позвоночных животных, структуры ткани образца и других факторов. ОКТ говядины и свинины отличаются более высокой чувствительностью к облучению. По исследуемым ОКТ говядины и свинины установлено, что ОКТ говядины и свинины отличаются параметрами пика сигнала: при большем размахе амплитуды зафиксирован более узкий сигнал и, как следствие, большая площадь пика. По образцам костной ткани рыбы и птицы установлено, что несмотря на более низкие показатели амплитуды, за счет увеличения ширины ЭПР-сигнала также происходит увеличение площади.

Зафиксирована устойчивая корреляционная зависимость увеличения площади ЭПР-сигнала от параметров сигнала: по амплитуде – 0,99, по ширине пика сигнала соответственно – 0,979 (степень силы статистической связи по Чеддоку очень высокая).

Полученные результаты исследований имеют важное теоретическое и практическое значение для формирования национальной нормативной базы и апробации существующих методик для выявления радиационно-обработанных пищевых продуктов.

**Финансирование.** Работа не имела спонсорской поддержки.  
**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

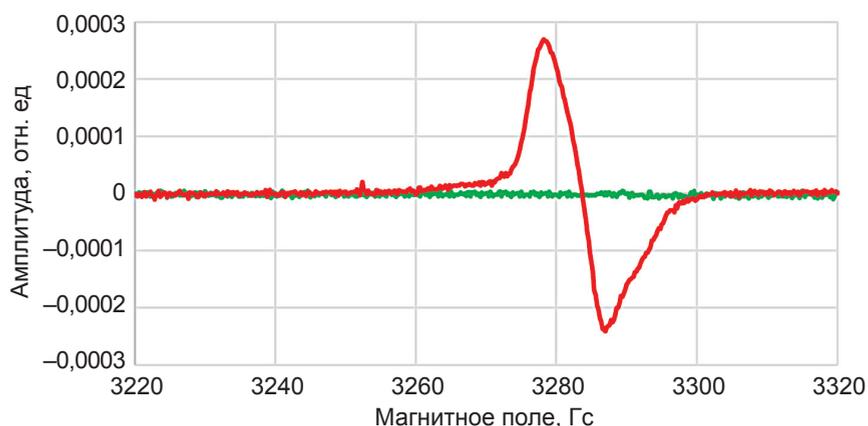
## Литература (ш. 2, 8–10, 14, 15 см. References)

1. Рождественская Л.Н., Брызгин А.А., Коробейников М.В. Предпосылки и основания использования ионизирующего излучения для обработки пищевой продукции. *Пищевая промышленность*, 2016 (11): 39-45.
3. Тихонов А. В. Использование радиационных технологий в сельскохозяйственном производстве. Тихонов А.В., Анашкин Р.С., Крюков А.Е. *Сборник научных трудов ГНУ СНИИЖК*, 2013 (6): 330-333.
4. Дроздова Н.А., Дыдыкин А.С., Горбунова Н.А., Семенова А.А. Применение ионизирующего и неионизирующего излучения в пищевой промышленности. *Всё о мясе*. 2017 (1): 16-20.
5. Мусина О.Н., Коновалов К.Л. Радиационная обработка ионизирующим излучением продовольственного сырья и пищевых продуктов. *Пищевая промышленность*. 2016 (11): 46-49.
6. Лебская Т.К., Голембовская Н.В. Применение пиковолновой обработки для регулирования созревания и повышения безопасности пресервов из мяса карпа. *Вестник АГТУ. Серия: Рыбное хозяйство*, 2015 (2): 116-122.
7. Риочи Саката. Тенденция развития технологий и исследований мяса и мясных продуктов в Японии. *Всё о мясе*, 2015 (1): 20-24.
11. Чиж Т.В. Козьмин Г.В., Полякова Л.П., Мельникова Т.В. Радиационная обработка как технологический прием в целях повышения уровня продовольственной безопасности. *Вестник Российской академии естественных наук*, 2011 (4): 44-49.
12. Тимакова Р.Т., Тихонов С.Л., Тарарков А.Н., Кудряшов Л.С. Оценка радиационной безопасности охлажденного мяса с использованием метода электронного парамагнитного резонанса. *Теория и практика переработки мяса*, 2016 (3): 39-47. Doi: 10.21323/2414-438X-2016-1-3-57-65.
13. Кудряшов Л.С., Тимакова Р.Т., Тихонов С.Л., Романова А.С. Применение метода электронного парамагнитного резонанса для исследования рыбы. *Хранение и переработка сельхозсырья*, 2017 (1): 9-12.

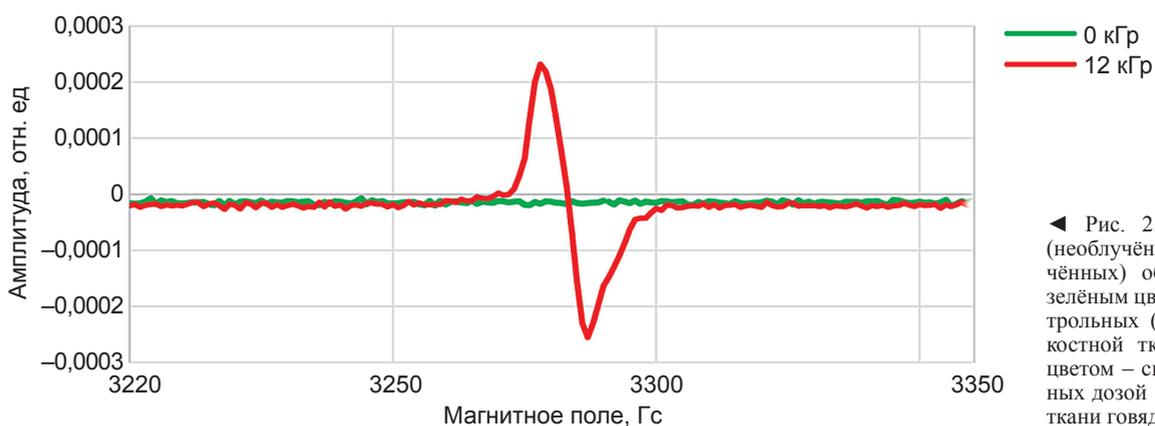
## References

1. Rozhdestvenskaya L.N., Bryazgin A.A., Korobeinikov M.V. Background and reasons for the use of ionizing radiation for food processing. *Pishchevaya promyshlennost'*, 2016 (11): 39-45.
2. Chiaravalle A. E., Mangiacotti M., Marchesani G., Vegliante G. Electron spin resonance (ESR) detection of irradiated fish containing bone (gilthead sea bream, cod, and swordfish). *Vet Res Commun*, 2010. 34 (1): 149-152.
3. Tikhonov A.V., Anashkin R.S., Kryukov A.E. The use of radiation technologies in agricultural production. *Collection of scientific papers of the State Scientific Institution SNIIMK*, 2013 (6): 330-333.
4. Drozdova N.A., Dydykin A.S., Gorbunova N.A., Semenova A.A. Application of ionizing and non-ionizing radiation in the food industry. *Vse o myase*. 2017 (1): 16-20.
5. Musina ON, Konovalov K.L. Radiation treatment with ionizing radiation of food raw materials and food products. *Pishchevaya promyshlennost'*. 2016 (11): 46-49.
6. Lebskaya T.K., Golembovskaya N.V. The use of peak wave processing to control ripening and increase the safety of carp meat preserves. *Vestnik AGTU. Series: Rybnoe hoz'yajstvo*, 2015 (2): 116-122.
7. Ryochi Sakata. The trend of the development of technology and research of meat and meat products in Japan. *Vse o myase*, 2015 (1): 20-24.
8. Erkan N., Günlü A., Genc I. Alternative seafood preservation technologies: ionizing radiation and highpressure processing. *Journal of FisheriesSciences.com*. 2014. 8(3): 238-251.
9. Genç I.Y., Diler A. Elimination of foodborne pathogens in seafoods by irradiation: Effects on quality and shelf-life. *Journal of Food Science and Engineering*. 2013 (3): 99-106.
10. Norhana, M. N. W., Poole S. E., Deeth H. C., Dykes G. A. Prevalence, persistence and control of Salmonella and Listeria in shrimp and shrimp products: a review. *Food Control*, 2010. 21 (4): 343-361.
11. Chizh T.V. Kozmin G.V., Polyakova L.P., Melnikova T.V. Radiation processing as a technology in order to improve food safety. *Vestn. Rossijskoj akademii estestv. nauk*, 2011 (4): 44-49.
12. Timakova R.T., Tikhonov S.L., Tararkov A.N., Kudryashov L.S. Evaluation of the radiation safety of chilled meat using electron paramagnetic resonance. *Teoriya i praktika pererabotki myasa*, 2016 (3): 39-47. Doi: 10.21323 / 2414-438X-2016-1-3-57-65.
13. Kudryashov L.S., Timakova R.T., Tikhonov S.L., Romanova A.S. Application of the electron paramagnetic resonance method for the study of fish. *Hranenie i pererabotka sel'hoz'syr'ya*, 2017 (1): 9-12.
14. Abdel-Rehim, F. et al. The use of electron spin resonance spectroscopy for the detection of irradiated mackerel. *Applied Radiation and Isotopes*, 1997. 48 (2): 241-245.
15. 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: 1076-1085.

— 0 кГр  
— 12 кГр

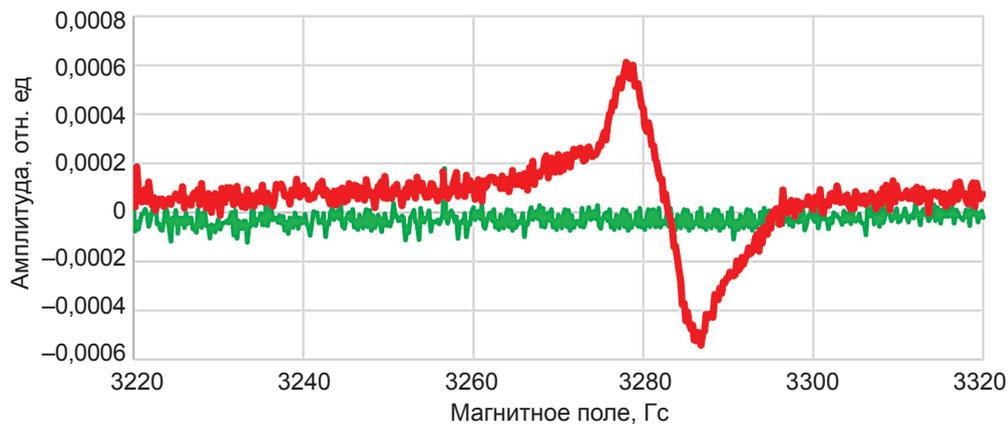


► Рис. 1. Спектры контрольных (необлучённых) и опытных (облучённых) ОКТ свинины: зелёным цветом выделен спектр контрольных (необлучённых) образцов костной ткани свинины; красным цветом – спектр опытных (облучённых дозой 12 кГр) образцов костной ткани свинины.

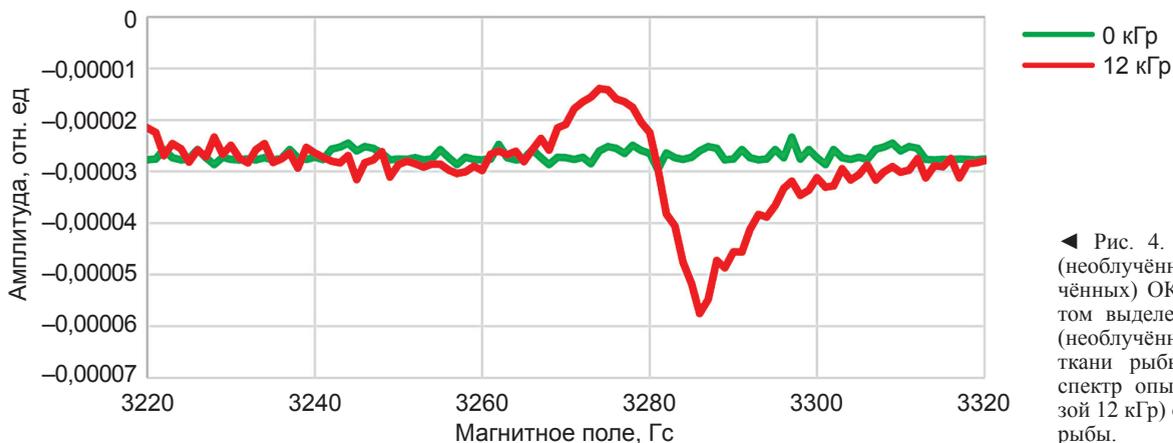


◀ Рис. 2. Спектры контрольных (необлучённых) и опытных (облучённых) образцов ОКТ говядины: зелёным цветом выделен спектр контрольных (необлучённых) образцов костной ткани говядины; красным цветом – спектр опытных (облучённых дозой 12 кГр) образцов костной ткани говядины.

— 0 кГр  
— 12 кГр



► Рис. 3. Спектры контрольных (необлучённых) и опытных (облучённых) ОКТ птицы: зелёным цветом выделен спектр контрольных (необлучённых) образцов костной ткани птицы; красным цветом – спектр опытных (облучённых дозой 12 кГр) образцов костной ткани птицы.



◀ Рис. 4. Спектры контрольных (необлучённых) и опытных (облучённых) ОКТ рыбы: зелёным цветом выделен спектр контрольных (необлучённых) образцов костной ткани рыбы; красным цветом – спектр опытных (облучённых дозой 12 кГр) образцов костной ткани рыбы.