

# ASSESSMENT OF RADIATION SAFETY OF CHILLED MEAT USING THE METHOD OF ELECTRON PARAMAGNETIC RESONANCE

## ОЦЕНКА РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОХЛАЖДЕННОГО МЯСА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ЭЛЕКТРОННОГО ПАРАМАГНИТНОГО РЕЗОНАНСА

Timakova R.T.<sup>1</sup>, Tikhonov S.L.<sup>1</sup>, Tararkov A.N.<sup>2</sup>, Kudryashov L.S.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Ural State University of Economics, Ekaterinburg, Russia

<sup>2</sup> Spektr LLC, Ekaterinburg, Russia

<sup>3</sup> The V. M. Gorbатов All-Russian Meat Research Institute, Moscow, Russia

**Ключевые слова:** электронный парамагнитный резонанс (ЭПР), спектрометр, мясо, метод радиационной стерилизации, спектр, g-фактор

**Keywords:** electron paramagnetic resonance (EPR) spectrometer, meat, method of radiation sterilization, spectrum, g-factor

### Аннотация

В мировой практике активно применяются радиационные технологии обработки пищевых продуктов, при этом в продукции обнаруживаются свободные радикалы. Ученые не приняли окончательного решения о полной безопасности метода радиационной стерилизации, поэтому очень важен контроль облученных пищевых продуктов для выявления факта облучения и определения остаточных явлений. Полученные экспериментальные данные на отечественном спектрометре ЭПР серии Labrador Expert X, разработанным ООО «Спектр» при содействии научного коллектива авторов Института естественных наук УрФУ им. Ельцина Б.Н. свидетельствуют о наличии свободных радикалов в образцах мяса говядины бескостной, что возможно связано с возникновением прижизненных технологических и убойных стрессов у животных. Проведенное в лабораторных условиях облучение образцов мяса кур, позволяет сравнить полученные спектры до и после облучения. Доза облучения мяса птицы составляет 12 кГр. Указанная доза выбрана, исходя из сложившейся практики признания безопасной дозой облучения во многих странах в 10–12 кГр. Установлено, что в диапазоне магнитного поля от 3272 до 3280 Гс присутствует слабый сигнал ЭПР с амплитудой  $7,28 \cdot 10^{-5}$  и D менее 1. Такой фоновый сигнал может быть объяснен стрессом птицы, особенностями кормления и другими факторами. После облучения дозой 12 кГр сигнал ЭПР усилился в диапазоне магнитного поля от 3273 до 3286 Гс и D более 1.

Эта технология, или по-другому радипертизация, является промышленной стерилизацией пищевых продуктов для длительного хранения при положительных температурах, исключающих повторное инфицирование микроорганизмами. После облучения наблюдается пятикратное возрастание амплитуды ЭПР сигнала, появляются еще два сигнала с малой амплитудой. Факт облучения/необлучения образцов также подтвержден расчетным путем по ГОСТу Р 52529-2006.

Необходимость продолжения дальнейших исследований мяса и мясopодуlктов методом ЭПР очевидна: для установления факта стерилизации или радиуризации, для определения дозы облучения, для накопления достоверно установленной информации о радиационной чувствительности и для разработки методологической базы использования спектрометра ЭПР.

### Abstract

In the world practice, the radiation technologies for food product processing are extensively used; with that, free radicals are found in products. Scientists have not made a final conclusion about the complete safety of the method of radiation sterilization, so it is very important to control irradiated food products to determine a fact of irradiation and residual effects. The experimental data obtained on the domestic spectrometer EPR series Labrador Expert X, which was developed by Spektr LLC with the assistance of the research team of the authors from the Institute of Natural Sciences of UrFU named after Yeltsin B. N., indicate the presence of free radicals in the samples of boneless beef, which is probably associated with occurrence of ante-mortem technological and slaughter stress in animals. Irradiation of the chicken meat samples carried out in laboratory conditions allows a comparison of the spectra before and after irradiation. The dose of irradiation of poultry was 12 kGy. This dose was selected based on the practice of recognizing the radiation doses of 10-12 kGy as safe, which was established in many countries. It was found that in the range of the magnetic fields from 3272 to 3280 Gs, there was a weak EPR signal with an amplitude of  $7.28 \cdot 10^{-5}$  and D less than 1. Such a background signal can be explained by stress in the birds, peculiarities of feeding and other factors. After irradiation at a dose of 12 kGy, the ESR signal increased in the range of the magnetic fields from 3273 to 3286 Gs and D was higher than 1.

This technology or, in other words, radappertization, is an industrial sterilization of food products for long storage at positive temperatures, which precludes re-contamination by microorganisms. After irradiation, the fivefold increase in the amplitude of the ESR signal was observed and two additional signals with small amplitude appeared. The fact of irradiation/absence of irradiation of the samples was also confirmed by calculation according to GOST R 52529-2006.

The need for further research of meat and meat products by the EPR method is obvious: to determine a fact of sterilization or radurization, to determine a radiation dose, to accumulate reliably established information on radiation sensitivity and to develop a methodological base for the use of an EPR spectrometer.

## Введение

Одной из безопасных современных технологий консервирования мяса является ионизирующее облучение [1, 2]. Порча облученного мяса при длительном хранении при плюсовых температурах обусловлена протеолизом белковых макромолекул [3, 4]. По данным некоторых авторов доза радиации, обеспечивающая полную стерилизацию мяса не инактивирует тканевые ферменты [5]. Как повышение дозы облучения, так и ее понижение приводит к негативным последствиям.

В настоящее время одним из направлений современной науки о питании является разработка новых способов исследования безопасности продовольственного сырья и пищевых продуктов. К одному из эффективных методов относится электронный парамагнитный резонанс (ЭПР), который может быть использован не только для фундаментальных исследований различных веществ и процессов в физике, химии, биологии, геологии и других науках, но и, на наш взгляд, имеет прикладной характер для оценки радиационной безопасности пищевой продукции, в том числе мясной.

ЭПР — явление поглощения энергии сверхвысокочастотного (СВЧ) излучения (9–10 ГГц) веществом, помещенного в магнитное поле, при некотором определенном для данных парамагнитных центров значении индукции магнитного поля. В современных условиях облучение ионизирующими излучениями пищевых продуктов (около 40 видов: специи и сушеные овощи, зерно и фрукты, мясо и рыба, корнеплоды) разрешено в 60 государствах, в частности: в Китае и США (до 70 % от общего количества центров для облучения пищевых продуктов), Индии, Германии, Франции, ЮАР, Бразилии, Индонезии, Мексике, Чили, Бельгии, Испании, Вьетнаме, Таиланде, Бангладеш, Англии, Перу. За рубежом метод радиационной стерилизации мяса птицы начали осваивать с 1992 года, а охлажденного и замороженного красного мяса (говядина, баранина, свинина) с 1999 года.

Проблемам облучения мяса и мясopодуlтов посвящены труды отечественных ученых: В.В. Светличного, А.М. Смирнова, А.С. Лескова, Ю.Г. Костенко, Л.П. Поляковой и др. Исследованиями ученых было установлено, что при передозировке уровня облучения в мясе на кости могут образовываться свободные радикалы и радиотоксины [3, 4]. С.М. Орехова и А.П. Нечипоренко предложили гибридный метод радиационного консервирования измельченной мышечной ткани свинины, сочетающий облучение электронным пучком в режимах радиуризации и обработку 40 % раствором этанола. Комплексное использование двух стерилизующих агентов и аскорбиновой кислоты в качестве антиоксиданта позволяет продлить срок анаэробного хранения мясopодуlтов при низких положительных температурах (плюс 4 °C) в 5–6 раз с сохранением качества по всем органолептическим и микробиологическим показателям [6].

## Introduction

One of safe modern technologies of meat preservation is ionizing radiation [1,2]. Spoilage of irradiated meat during prolonged storage at temperatures above zero is determined by proteolysis of the protein macromolecules [3,4]. According to data of several authors, the radiation dose that ensures complete sterilization of meat does not inactivate tissue enzymes [5]. Both an increase and decrease in a dose of irradiation lead to negative consequences.

At present, one of the areas of modern science of nutrition is the development of new methods for investigation of safety of food raw materials and food products. One of the most effective methods is electron paramagnetic resonance (EPR), which can be used not only for fundamental studies of various substances and processes in physics, chemistry, biology, geology and other sciences, but, in our opinion, is applicable to assessment of radiation safety of food products, including meat.

EPR is a phenomenon of energy absorption of microwave (MW) radiation (9-10 GHz) by a substance placed in a magnetic field at some value of the magnetic field induction determined for specific paramagnetic centers. Under current conditions, an exposure of food products to ionizing radiation (about 40 types of spices and dried vegetables, grain and fruit, meat and fish, root vegetables) are allowed in 60 countries, particularly in China and the USA (up to 70 % of the total number of centers for food irradiation), India, Germany, France, South Africa, Brazil, Indonesia, Mexico, Chile, Belgium, Spain, Vietnam, Thailand, Bangladesh, England and Peru. The foreign countries have begun to develop the method of radiation sterilization of poultry meat since 1992, chilled and frozen red meat (beef, lamb, pork) since 1999.

The problems of irradiation of meat and meat products were examined in the works of Russian scientists (V.V. Svetlichnyi, A.M. Smirnov, A.S. Leskova, Yu.G. Kostenko, L.P. Polyakova and others). The research carried out by the scientists demonstrated that free radicals and radiotoxins can be formed when the level of irradiation of bone-in meat is overdosed [3, 4]. С.М. Orekhova and А.Р. Nechiporenko proposed a hybrid method for radiation preservation of minced pork muscle tissue, which is a combination of irradiation by the electron beam in the regimes of radurization and treatment with 40 % ethanol solution. The combined use of two sterilizing agents and ascorbic acid as an antioxidant can extend the duration of anaerobic storage of meat at a low positive temperature (+4 °C) by 5–6 times while maintaining quality in terms of all organoleptic and microbiological indicators [6].

А.С. Казиахмедов, проводя экспериментальные исследования по обработке мяса цыплят-бройлеров ионизирующим излучением, установил, что для увеличения сроков хранения мяса цыплят-бройлеров рекомендуется стерилизация ионизирующим излучением в дозах 2,5 и 6 кГр; мясо, облученное ионизирующим излучением в указанных дозах допускается использовать на пищевые цели без ограничения [7].

В 2011 году был принят основополагающий международный стандарт ISO 14470:2011, целью которого является обеспечение требований по облучению пищевых продуктов в соответствии с действующими нормами и практикой; обеспечение направлений технического соглашения между клиентом и оператором по облучению; создание системы документации для поддержки управления на процесс облучения продуктов питания.

Следует отметить, что в разных странах мира максимально допустимая доза облучения продуктов питания различная, так в США она составляет 30 кГр, в Бельгии и Голландии — 10 кГр, во Франции — 11 кГр. В России эта величина в настоящее время не регламентируется. Вместе с тем отсутствует целостная картина — насколько «вредны» те или иные облученные пищевые продукты и сырье, каковы последствия для организма человека при постоянном употреблении в пищу облученных пищевых продуктов. В 1959 году «Journal of Nutrition» сообщил об исследовании, проводившемся по заказу Главного хирурга армии США. В этом эксперименте крысы, которых кормили облученной говядиной, прожили не более 34 дней. Они также все погибли от внутреннего кровоизлияния. В отчете FDA за 1968 год указывалось, что многие крысы, которых кормили облученной говядиной погибали от внутреннего кровоизлияния в течение 46 дней.

Ученые сомневаются и окончательно не приняли решение о полной (безусловной) безопасности метода радиационной стерилизации. Свободные радикалы обладают очень высокой химической активностью. Имеются данные о высоком риске возникновения онкологических заболеваний. Поэтому, очень важен анализ и контроль облученных пищевых продуктов и пищевого сырья на регулярной основе для выявления факта облучения и определения остаточных явлений.

В начале 90-х годов за рубежом был принят ряд стандартов по подготовке образцов, условиям проведения измерений и однозначной идентификации облученных пищевых продуктов с применением метода ЭПР, одобренный Всемирной организацией здравоохранения, но только при условии жесткого контроля за облученными пищевыми продуктами. Россия значительно отстала от общемировой тенденции и находится на начальной стадии формирования рынка пищевых продуктов, обработанных с помощью использования радиационных технологий. Существенной проблемой

A. S. Kaziakhmedov found in the experimental research on treatment of broiler chicken meat by ionizing radiation that sterilization by ionizing radiation in doses of 2.5 and 6 kGy is recommended for increasing shelf life of broiler chicken meat. It is permitted to use meat subjected to ionizing radiation at the indicated doses for food purposes without restrictions [7].

In 2011, the fundamental International Standard ISO 14470:2011 was adopted, which purpose is to ensure the requirements for food irradiation in accordance with the applicable norms and practices; provide directions for a technical agreement between a customer and an operator of radiation treatment; establish a documentation system to support operation of the food irradiation process.

It should be noted that in different countries of the world, the maximum allowable dose for food irradiation is different; for example, it is 30 kGy in the US, 10 kGy in Belgium and the Netherlands, 11 kGy in France. In Russia, this value is currently not regulated. In addition, there is no holistic picture of how «hazardous» are certain irradiated food products and raw materials, what are the consequences for a human body at a constant consumption of irradiated food. In 1959, «Journal of Nutrition» reported on a study that was commissioned by the Surgeon General of the U.S. Army. In this experiment, rats that were fed irradiated beef lived not more than 34 days. They also all died of internal bleeding. The FDA report for 1968 indicated that many rats that were fed irradiated beef died of internal hemorrhage within 46 days.

Scientists are in doubt and have not made a final conclusion on the complete (unconditional) safety of the method of radiation sterilization. Free radicals have a very high chemical activity. There are data on a high risk of cancer. Therefore, it is very important to analyze and control irradiated food products and food raw materials on a regular basis to determine a fact of irradiation and residual effects.

In the early 1990s, foreign countries adopted a number of standards for sample preparation, conditions of measurement and unequivocal identification of irradiated food with the use of the ESR method, which was endorsed by the World Health Organization, but only under conditions of strict control of irradiated food. Russia has significantly lagged behind the global trends and is at the initial stage of formation of the market of food products processed using radiation technologies. A significant problem is the

является неактуальная нормативно-правовая база, а также частичное или полное отсутствие необходимых стандартов для облучения определенных пищевых продуктов и пищевого сырья.

Так, в законодательной базе России отсутствуют разделы об облучении пищевого сырья и продуктов питания. Статья 1 Закона «О качестве и безопасности пищевых продуктов» безопасность пищевых продуктов трактует как «состояние обоснованной уверенности в том, что пищевые продукты при обычных условиях их использования не являются вредными и не представляют опасности для здоровья нынешнего и будущих поколений» [8]; в доктрине «О продовольственной безопасности Российской Федерации» сказано, что одной из задач обеспечения продовольственной безопасности является обеспечение безопасности пищевых продуктов, а для формирования здорового типа питания населения страны потребуются развитие фундаментальных и прикладных научных исследований по медико-биологической оценке безопасности новых источников пищи и ингредиентов [9]. В Техническом регламенте Таможенного союза ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции» безопасность пищевой продукции определяется как «состояние пищевой продукции, свидетельствующие об отсутствии недопустимого риска, связанного с вредным воздействием на человека и будущие поколения» [10].

Для оценки радиационной безопасности продовольственного сырья и пищевых продуктов страны используются спектрометры ЭПР, отличающиеся своим характеристиками. Della Wai-mei Sin, Yiu-chung Wong, Michael Wai-yin Yao, Eric Marchioni применяли ЭПР для обнаружения факта облучения в костях сельскохозяйственных животных и птицы, рыбы и раковины моллюска [11].

Мировой рынок спектрометров, основанных на явлении электронного парамагнитного резонанса (ЭПР), сегодня поделен между немецкими и японскими производителями. Всемирно известная компания Bruker предлагает разнообразные спектрометры ЭПР, в том числе и портативный ЭПР спектрометр X-диапазона e-Scan, предназначенный для использования в медицине и фармакологии.

Интеграция России в мировую практику использования облученных пищевых продуктов и пищевого сырья продолжается и в соответствии с решениями по итогам заседания президиума Совета при Президенте России по модернизации экономики и инновационному развитию от 11 декабря 2014 года поставлена глобальная задача по внедрению радиационной обработки сельскохозяйственного сырья и готовой продукции в агропромышленное производство. Согласно последним данным, к 2017 году в Российской Федерации будет внедрена современная технология облучения продуктов с целью продления срока их годности.

outdated regulatory framework, and partial or complete absence of necessary standards for irradiation of specific food products and food raw materials. For example, in the Russian legislation, there are no sections about irradiation of food raw materials and food products. Article 1 of the Law «On food quality and safety» defines food safety as «the condition of reasonable confidence that food products under usual conditions of their use are not harmful and do not pose any hazard to the health of present and future generations» [8]; the Food Security Doctrine of the Russian Federation says that one of the objectives of food security is safety of food products, and formation of a healthy type of nutrition of the country's population will require the development of the fundamental and applied research on the medical and biological safety assessment of new food sources and ingredients [9]. In the Technical Regulations of the Customs Union TR TC 021/2011 «On Food Safety», food safety is defined as «the state of food products that indicate no unacceptable risk associated with the harmful effects on humans and future generations» [10].

To evaluate the radiation safety of food raw materials and food products in the country, the EPR spectrometers with different characteristics are used. Della Wai-mei Sin, Yiu-chung Wong, Michael Wai-yin Yao, Eric Marchioni used EPR to detect the fact of irradiation in the bones of farm animals and poultry, fish and mollusk shells [11].

Today, the world market for spectrometers, which are based on the phenomenon of electron paramagnetic resonance (EPR), is divided between the German and Japanese manufacturers. The world famous company, Bruker, offers various EPR spectrometers, including the portable X-band EPR spectrometer, e-Scan, for the use in medicine and pharmacology.

Integration of Russia into the global practice of using irradiated food products and food raw materials continues. In accordance with the decisions following the meeting of the Presidium of the Council under the Russian President for Economic Modernization and Innovative Development of 11 December 2014, the global task was set to introduce radiation processing of agricultural raw materials and finished products in the agro-industrial production. According to the latest data, the modern technology of food irradiation for shelf life extension will be introduced in the Russian Federation by 2017.

В связи с этим своевременными и актуальными являются исследования, направленные на внедрение современных методов оценки безопасности охлажденного мяса, в частности методом ЭПР.

### Материалы и методы

В г. Екатеринбурге инженерами и программистами ООО «Спектр» при содействии научного коллектива авторов Института естественных наук УрФУ им. Ельцина Б.Н. разработан портативный автоматизированный спектрометр ЭПР серии Labrador Expert X-диапазона (длина волны 3 см), предназначенный для прямой регистрации параметров спектров ЭПР веществ, имеющих в своем составе свободные радикалы, что позволяет осуществлять радиобиологический контроль веществ (рис. 1).

Общие технические характеристики спектрометра ЭПР приведены в таблице 1.

**Table 1. General technical characteristics of the EPR spectrometer**  
Табл. 1. Общие технические характеристики спектрометра ЭПР

Type of spectrometer   Тип спектрометра	X-band spectrometer   спектрометр X-диапазона
Sensitivity, spins/0.1 mT, not more   Чувствительность, спин/0,1 мТл, не более	5 × 1010
Frequency of signal channel of microwave, GHz   Частота сигнального канала СВЧ, ГГц	9.2
Maximum power of microwave, mW   Максимальная мощность СВЧ, мВт	50
Induction of constant magnetic field, Tl   Индукция постоянного магнитного поля, Тл	0.328 ± 0.03
Absolute error of magnetic field, mTl, not more   Абсолютная погрешность магнитного поля, мТл, не более	0.05

Целью настоящих исследований является изучение возможности использования спектрометра ЭПР для проведения радиобиологического контроля мяса. Хотя в России официально пищевая продукция не облучается и, соответственно, отсутствует информация о факте облучения, нельзя с достоверностью сказать, что продукция, поступающая из-за пределов России, не прошла радиационную стерилизацию или могла быть поставлена из неблагополучных в радиационной отношении районов.

Метод электронного парамагнитного резонанса по ГОСТу 52529-2006 применяется для выявления факта облучения мяса, содержащих костную ткань. Нами был расширен диапазон исследуемых образцов, т.е. к исследованию были отобраны также и образцы бескостного мяса.

Для эксперимента отобраны образцы: охлажденное мясо говядины (лопаточный отруб), бедренная часть мяса кур. Эксперимент проводился по 2-м направлениям: установка самого факта радиационной стерилизации представленных образцов (мясо) и ра-

In this regard, the studies aimed at the introduction of modern methods of evaluation of chilled meat safety, in particular by EPR, are timely and relevant.

### Materials and methods

In Ekaterinburg, the engineers and programmers of Spektr LLC with the assistance of the research team of the authors from the Institute of Natural Sciences of UrFU named after Yeltsin B. N. have developed a portable automated EPR spectrometer of the series Labrador Expert X-band (wavelength: 3 cm), designed to directly record the parameters of the ESR spectra of the substances that have free radicals in their composition, which allows the radiobiological control of substances (Fig. 1).

General technical characteristics of the EPR spectrometer are given in Table 1.



**Figure 1. Appearance of the EPR spectrometer**  
Рис. 1. Внешний вид спектрометра ЭПР

The purpose of this research is to study the possibility of using an EPR spectrometer for radiobiological control of meat. Although, in Russia, food products officially are not irradiated and, therefore, there is no information about the facts of irradiation, it is impossible to say with certainty that products coming from outside into Russia, were not subjected to radiation sterilization, or could have been supplied from disadvantaged areas in terms of radiation.

According to GOST 52529-2006, the method of electron paramagnetic resonance is used to determine the fact of irradiation of meat containing the bone tissue. We have extended the range of test samples (i.e., the samples of boneless meat were also selected for the study).

For the experiment, the following samples were selected: chilled beef (shoulder cut) and the thigh part of chicken. The experiment was conducted in 2 directions: establishing the fact of radiation sterilization of the submitted samples (meat) and radiobiological monitoring of the poultry meat samples before and after irradiation according to GOST R 52529-2006 « Meat and meat products.

диобиологический контроль образцов мяса птицы до облучения и после проведенного облучения согласно ГОСТ Р 52529-2006. «Мясо и мясные продукты. Метод электронного парамагнитного резонанса для выявления радиационно-обработанных мяса и мясopодуKтов, содержащих костную ткань».

Облучение проводилось в новом ускорителе при поддержке Центра радиационной стерилизации Уральского Федерального университета.

Для сравнения сигналов использовался контрольный образец (высокостабильный эталон): мера количества парамагнитных центров (КПЦ) на основе оксида марганца. Исследования проводились в десятикратной повторности при частоте СВЧ, приближенной к 9200 МГц; в разных диапазонах магнитного поля (с центром в 3280 Гс); с изменяющимися временем преобразования, амплитудой модуляции и коэффициентом усиления. Мощность СВЧ устанавливалась в диапазоне 4–8 дБм путем апробации для нормализации показателя — сигнал/шум.

### Результаты и обсуждение

Установление факта облучения образца мяса (D) проводили расчетным путем по ГОСТу Р 52529-2006, в результате чего было выявлено, что факт облучения — D меньше 1. Проведенными исследованиями не подтвержден факт облучения образца мяса говядины, факт облучения подтверждается при выполнении условия: D больше 1. В образцах говядины в диапазоне магнитного поля от 3260 до 3290 Гс присутствует незначительный сигнал ЭПР с амплитудой  $4,09 \cdot 10^{-5}$  (g-фактор = 2,0066) (рис. 2), который свидетельствует о наличии свободных радикалов, что возможно связано с возникновением прижизненных технологических и убойных стрессов у животных.

В ходе эксперимента для анализа возможностей спектрометра проводилось сравнение спектров для необлученных и облученных образцов мяса кур (рис. 3). Доза облучения мяса птицы составляет 12 кГр.

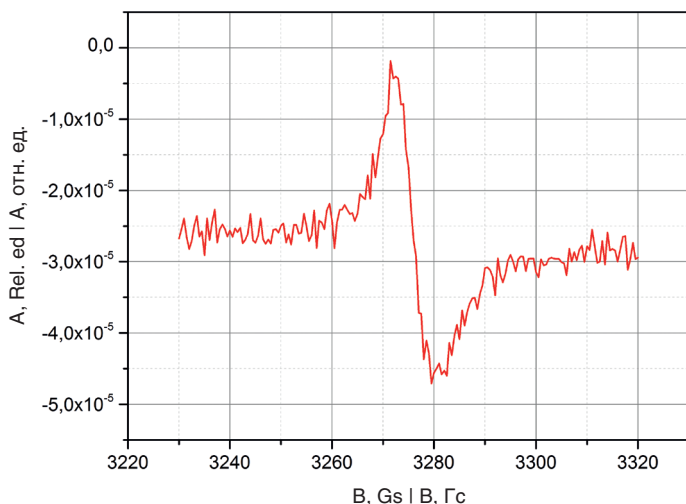


Figure 2. Spectrum of boneless beef  
Рис. 2. Спектр говядины бескостной

Method of electron paramagnetic resonance for indication of radiation-treated meat and meat products containing bones.»

Irradiation was carried out in the new accelerator with the support of the Center for Radiation Sterilization of the Ural Federal University.

For comparison of the signals, the control sample (highly stable reference) was used: a measure of the number of the paramagnetic centers (DPC) on the basis of manganese oxide. The studies were conducted in ten replicates at a frequency of the microwave close to 9200 MHz; in different ranges of the magnetic field (3280 Gs field center); variable time conversion, modulation amplitude and gain. The power of the microwave was set in the range of 4-8 dBm by testing for normalization of the indicator signal/noise.

### Results and discussion

The fact of irradiation of the meat samples (D) was determined by the calculative method according to GOST R 52529-2006; as a result, it was revealed that the fact of irradiation (D) was less than 1. The performed analysis did not confirm the fact of irradiation of beef samples; the fact of irradiation is confirmed by the condition: D is higher than 1. In the beef samples, there was a minor EPR signal with an amplitude of  $4.09 \cdot 10^{-5}$  (g-factor = 2.0066) in the range of the magnetic fields from 3260 to 3290 Gs (Fig. 2), which indicated the presence of free radicals probably associated with occurrence of ante-mortem technological and slaughter stress in animals.

In the course of the experiment, the spectra of the non-irradiated and irradiated samples of chicken meat were compared to analyze the capabilities of the spectrometer (Fig. 3). The radiation dose for poultry was 12 kGy.

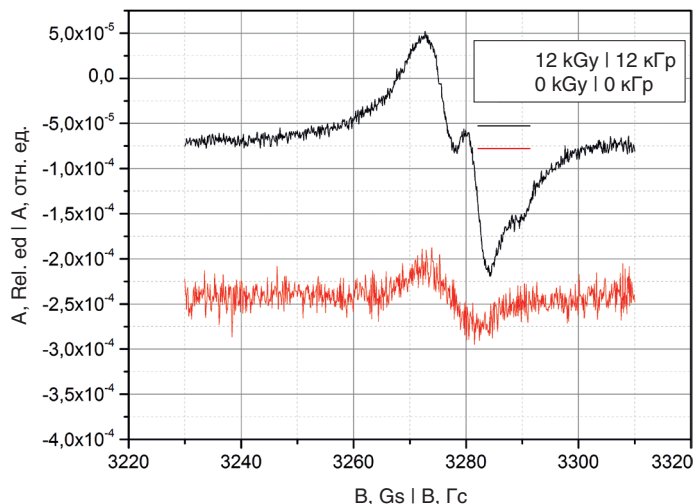


Figure 3. Spectrum of chicken meat before and after irradiation  
Рис. 3. Спектр мяса кур до и после облучения

Указанная доза выбрана, исходя из сложившейся практики признания безопасной дозой облучения во многих странах в 10–12 кГр. Эта технология, или по-другому радаппертизация, является промышленной стерилизацией пищевых продуктов для длительного хранения в обычных условиях, исключающих повторное инфицирование микроорганизмами.

При измерении ЭПР спектра в диапазоне магнитного поля от 3250 до 3300 Гс присутствует слабый сигнал ЭПР с амплитудой  $7,28 \cdot 10^{-5}$  и g-фактором 2,0054 шириной 10 Гс; расчетным путем установлено, что D меньше 1 (по ГОСТу Р 52529-2006). Такой фоновый сигнал может быть объяснен стрессом птицы, особенностями кормления и другими факторами. После облучения дозой 12 кГр наблюдается пятикратное возрастание амплитуды ЭПР сигнала, ширина увеличивается до 12 Гс, g-фактор становится равным  $g = 2,0045$ , появляются еще два сигнала с малой амплитудой и шириной 2 Гс, с  $g^1 = 2,004$   $g^2 = 1,998$ . Факт облучения также подтверждается расчетным путем: D больше 1.

### Выводы

Полученные экспериментальные данные свидетельствуют о том, что ЭПР Labrador Expert, разработанный специалистами ООО «Спектр», возможно использовать для определения радиационной безопасности мяса. В результате проведенных исследований не подтвержден факт облучения образца мяса говядины. Незначительный сигнал ЭПР с амплитудой  $4,09 \cdot 10^{-5}$  (g-фактор = 2,0066) свидетельствует о наличии свободных радикалов, что возможно связано с возникновением прижизненных технологических и убойных стрессов у животных. Установлено, что облученные образцы мяса птицы (доза 12кГр) дают ярко выраженный спектр на спектрометре ЭПР, отличный по амплитуде от исходных необлученных образцов. В диапазоне магнитного поля от 3250 до 3300 Гс присутствует слабый сигнал с амплитудой  $7,28 \cdot 10^{-5}$  и g-фактором 2,0054 шириной 10 Гс. Такой фоновый сигнал может быть объяснен стрессом птицы, особенностями кормления и другими факторами. После облучения дозой 12 кГр наблюдается пятикратное возрастание амплитуды ЭПР сигнала, ширина увеличивается до 12 Гс, g-фактор становится равным  $g = 2,0045$ , появляются еще два сигнала с малой амплитудой и шириной 2 Гс, с  $g^1 = 2,004$   $g^2 = 1,998$ . Факт облучения/ необлучения образцов также подтвержден расчетным путем по ГОСТу Р 52529-2006.

Исходя из вышеизложенного, можно сделать заключение, что метод электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) является перспективным для осуществления контроля безопасности облученного мясного сырья. Продолжение исследований мяса и мясопродуктов методом ЭПР обусловлено необходимостью как для установления факта стерилизации (радуризации/ радисидации) отсутствия облучения, а также

This dose was selected based on the practice of recognizing the radiation doses of 10–12 kGy as safe, which was established in many countries. This technology or, in other words, radappertization, is an industrial sterilization of food products for long-term storage under normal conditions precluding re-contamination by microorganisms.

When measuring the EPR spectrum in the magnetic field range from 3250 to 3300 GS, it was found that there was a weak EPR signal with an amplitude of  $7.28 \cdot 10^{-5}$  and g-factor of 2.0054 and a width of 10 Gs; it was established by calculation that D was less than 1 (according to GOST R 52529-2006). This background signal can be explained by stress in the birds, peculiarities of feeding and other factors. After irradiation with a dose of 12 kGy, a five-fold increase in the amplitude of the ESR signal was observed, the width increased to 12 Gs, g-factor became  $g = 2.0045$ ; two additional signals having a small amplitude and a width of 2 Gs, with  $g^1 = 2.004$  and  $g^2 = 1.998$  appeared. The fact of irradiation was also confirmed by calculation: D was higher than 1.

### Conclusions

The obtained experimental data show that the EPR Labrador Expert, which was developed by the specialists of Spektr LLC, may be used to determine radiation safety of meat. As a result of the study, the fact of irradiation of the beef samples was not confirmed. The minor EPR signal with an amplitude of  $4.09 \cdot 10^{-5}$  (g-factor = 2.0066) indicates the presence of free radicals, which is probably associated with occurrence of ante-mortem technological and slaughter stress in animals. It was established that the irradiated samples of poultry meat (a dose of 12 kGr) gave a pronounced spectrum on an EPR spectrometer, which had a different amplitude compared to the original non-irradiated samples. In the range of the magnetic fields from 3250 to 3300 Gs, there was a weak signal with an amplitude of  $7.28 \cdot 10^{-5}$  and g-factor of 2.0054 and a width of 10 Gs. This background signal can be explained by stress in the birds, peculiarities of feeding and other factors. After irradiation with a dose of 12 kGy, a five-fold increase in the amplitude of the ESR signal was observed, the width increased to 12 Gs, g-factor became  $g = 2.0045$ ; two additional signals having a small amplitude and a width of 2 Gs, with  $g^1 = 2.004$  and  $g^2 = 1.998$  appeared. The fact of irradiation/ absence of irradiation of the samples was also confirmed by calculation according to GOST R 52529-2006.

Based on the foregoing, we can conclude that the method of electron paramagnetic resonance (EPR) is promising for implementation of safety control of irradiated meat raw material. The further research of meat and meat products by EPR is conditioned by the need to establish the fact of sterilization (radurization/ radicidation) or the absence of

для определения уровня облучения, для накопления достоверно установленной информации о радиационной чувствительности с учетом условий выращивания и откорма, наличия стресса, и других факторов и, соответственно, разработки методологической базы использования спектрометра ЭПР, а также для изучения влияния доз облучения на сроки хранения и качество мяса и мясопродуктов.

irradiation, and to determine the level of exposure to accumulate reliably established information on radiation sensitivity with regard to the conditions of growing and fattening, stress, and other factors and, accordingly, to develop a methodological base for the use of an EPR spectrometer, as well as to study the effects of radiation doses on shelf life and quality of meat and meat products.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Fan X., Sommers C.H. Food Irradiation Research and Technology. — NY.: WileyBlackwell. — 2012. — P. 472.
2. Кодекс Алиментариус. Облученные продукты питания. Совместная программа ФАО/ВОЗ по стандартам на пищевые продукты. — М.: Весь Мир. — 2007. — С. 21.
3. Костенко Ю.Г., Шурдуба Н.А., Шагова Т.С., Телегина М.Д., Филатов В.И. Применение ионизирующих излучений для улучшения санитарно-микробиологических показателей мяса и мясных продуктов. — М.: Мясомолочная промышленность. — 1992. — С. 32.
4. 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. — С. 44–49.
5. Kim B.H., Jang A., Lee S.O., Min J.S., Lee M. Combined effect of electron beam (beta) irradiation and organic acids on shelf life of pork loins during cold storage. // J. Food Prot. — 2004. — V. 67, № 1. — P. 168–171.
6. Орехова С.М., Нечипоренко А.П. Радуризация мышечной ткани свинины. // НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств». — 2014. — № 1. — С. 273–283.
7. Казиахмедов А. С. Ветеринарно-санитарная оценка качества и безопасности мяса цыплят-бройлеров при обработке ионизирующим излучением: автореферат дис... канд. вет. наук — М.: МГУПП, 2012. — С. 22.
8. О качестве и безопасности пищевых продуктов. Закон от 02.01.2000 № 29-ФЗ (в ред. от 13.07.2015.) / URL: <https://gov.garant.ru> (дата обращения: 09.08.2016).
9. О продовольственной безопасности Российской Федерации. Доктрина, утв. указом Президента Российской Федерации от 30 января 2010 г. № 120 / URL: <https://gov.garant.ru> (дата обращения: 10.08.2016).
10. О безопасности пищевой продукции. Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 021/2011/ URL: <http://www.tsouz.ru> (дата обращения: 11.08.2016).
11. Della Wai-mei Sin, Yiu-chung Wong, Wai-yin Yao M., Marchionni E. Identification and stability study of irradiated chicken, pork, beef, lamb, fish and mollusks shells by electron paramagnetic resonance (EPR) spectroscopy / D. W. M. Sin [et al.] // European Food Research and Technology. — 2005. — № 221. — P. 684–691.

## REFERENCES

1. Fan X., Sommers C.H. Food Irradiation Research and Technology. — NY.: Wiley Blackwell. — 2012. — P. 472.
2. Codex Alimentarius. Irradiated food. Cooperative programme of FAO/WHO for food standards. — M.: VES MIR. — 2007. — P. 21.
3. Kostenko Yu. G., Shurduba N. A. Shagova T. S., Telegina, M. D., Filatov, V. I. Application of ionizing radiation to improve the sanitary-microbiological parameters of meat and meat products. — M.: Meat and Dairy Industry. — 1992. — P. 32.
4. Chyzh T. V., Koz'min G. V., Polyakova L. P., Melnikova T. V. Radiation treatment as a technological method to improve the level of food safety. // Bulletin of the Russian Academy of Natural Sciences. — 2011. — №. 4. — P. 44–49.
5. Kim B.H., Jang A., Lee S.O., Min J.S., Lee M. Combined effect of electron beam (beta) irradiation and organic acids on shelf life of pork loins during cold storage. // J. Food Prot. — 2004. — V. 67, № 1. — P. 168–171.
6. Orekhova S. M., Nechiporenko A. P. Radurization of muscle tissue of pork. // NIU ITMO. A series of «Processes and apparatus of food production». — 2014. — №. 1. — P. 273–283.
7. Kaziakhmedov A. S. Veterinary-sanitary assessment of the quality and safety of meat of broiler chickens in the processing of ionizing radiation: abstract of thesis... Cand.vet.Sciences — Moscow: MGUPP, 2012. — P. 22.
8. On food quality and safety. The law of 02.01.2000 No. 29-FZ (as amended on 13.07.2015.) / URL: <https://gov.garant.ru> (date of access: 09.08.2016).
9. Food Security Doctrine of the Russian Federation approved by the decree of the President of the Russian Federation No. 120 of January 30, 2010 / URL: <https://gov.garant.ru> (date of access: 10.08.2016).
10. On Food Safety. Technical regulations of the Customs Union TR CU 021/2011/ URL: <http://www.tsouz.EN> (date of access: 11.08.2016).
11. Della Wai-mei Sin, Yiu-chung Wong, Wai-yin Yao M., Marchionni E. Identification and stability study of irradiated chicken, pork, beef, lamb, fish and mollusks shells by electron paramagnetic resonance (EPR) spectroscopy / D. W. M. Sin [et al.] // European Food Research and Technology. — 2005. — № 221. — P. 684–691.



## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

## Принадлежность к организации

**Тимакова Роза Темерьяновна** — канд. с.-х. наук, доцент кафедры туристического бизнеса и гостеприимства Института торговли, пищевых технологий и сервиса Уральского государственного экономического университета  
620144, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта/ул. Народной воли, д. 62/45  
Тел.: 8-912-247-99-74  
E-mail: trt64@mail.ru

**Тихонов Сергей Леонидович** — доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Пищевая инженерия» Института торговли, пищевых технологий и сервиса Уральского государственного экономического университета  
620144, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта/ул. Народной воли, д. 62/45  
Тел.: 8-912-227-69-89  
E-mail: tihonov75@bk.ru

**Тарарков Андрей Николаевич** — директор ООО «Спектр» 620075, Екатеринбург, ул. Мамина-Сибиряка, 145  
Тел.: 8-912-246-34-15  
E-mail: fic2000@mail.ru

**Кудряшов Леонид Сергеевич** — главный научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт мясной промышленности им. В.М. Горбатова.  
109316, Москва, ул. Талалихина, 26  
Тел.: 8-903-627-33-06  
E-mail: lskudryashov@yandex.ru

## Критерии авторства

Тимакова Р. Т. провела обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провела эксперимент, написала рукопись, корректировала ее до подачи в редакцию, несет ответственность за плагиат.

Тихонов С. Л. предложил методику проведения эксперимента.

Кудряшов Л. С. корректировал и дополнял рукопись до момента подачи в редакцию.

Тарарков А. Н. организовал проведение испытаний.

Авторы в равных долях имеют отношение к написанию рукописи и одинаково несут ответственность за плагиат.

Ответственность за работу и предоставленные сведения несут все авторы.

Все авторы в равной степени участвовали в этой работе.

## Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила 01.09.2016

## AUTOR INFORMATION

## Affiliation

**Timakova Roza Temer'yanovna** — candidate of agricultural sciences, associate Professor of the Department of Tourism and Hospitality, Institute of Trade, Food Technologies and Service, Ural State University of Economics  
620144, Ekaterinburg, 8-th Marta Str./Narodnoyvoli str., 62/45  
Tel.: 8-912-247-99-74  
E-mail: trt64@mail.ru

**Tikhonov Sergey Leonidovich** — doctor of technical sciences, associate Professor, head of Department of Food Engineering, Institute of Trade, Food Technologies and Service, Ural State University of Economics  
620144, Ekaterinburg, 8-th Marta str./ Narodnoyvoli str., 62/45  
Tel.: 8-912-227-69-89  
E-mail: tihonov75@bk.ru

**Tararkov Andrei Nicolaevich** — director of Spektr LLC 620075, Ekaterinburg, Mamin-Sibiryakstr., 145  
Tel.: 8-912-246-34-15  
E-mail: fic2000@mail.ru

**Kudryashov Leonid Sergeevich** — chief researcher, The V.M. Gorbato All-Russian Meat Research Institute.  
109316, Moscow, Talalikhina str., 26  
Tel.: 8-903-627-33-06  
E-mail: lskudryashov@yandex.ru

## Contribution

Timakova R. T. conducted a review of the literature on an investigated problem, carried out the experiment, wrote the manuscript, corrected it before submission to the editor, is responsible for the plagiarism.

Tikhonov S. L. proposed the methodology of the experiment.

Kudryashov L. S. corrected and supplemented the manuscript before submitting to the editor.

Tararkov A. N. organized testing.

The authors were equally involved in writing the manuscript and are equally responsible for the plagiarism.

Responsibility for the work and information are all authors.

All authors equally participated in this work.

## Conflict of interest

The authors declares no conflict of interest.

Received 01.09.2016