

Получена: 10 февраля 2017 / Принята: 10 марта 2017 / Опубликовано online: 30 апреля 2017

УДК 53.087- 577.391-621.039 614.8.086.52

## **К ВОПРОСУ О ВОЗРАСТЕ КРЫС, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ, ОСНОВАННЫХ НА СПЕКТРОСКОПИИ ЭЛЕКТРОННОГО ПАРАМАГНИТНОГО РЕЗОНАНСА**

**Касым Ш. Жумадилов**<sup>1</sup>, <http://orcid.org/0000-0002-0205-4585>

**Айсулу Ж. Саимова**<sup>2</sup>, <http://orcid.org/0000-0002-9564-732X>

**Шолпан Ш. Абралина**<sup>2</sup>, <http://orcid.org/0000-0002-3681-3332>

**Нурлан Б. Саякенов**<sup>2</sup>, <http://orcid.org/0000-0002-5082-7554>

**Валерий Ф. Степаненко**<sup>3</sup>, <http://orcid.org/0000-0002-3541-0515>

**Шин Тойода**<sup>4</sup>, <http://orcid.org/0000-0002-1524-7167>

**Масахару Хоши**<sup>5</sup>, <http://orcid.org/0000-0001-6978-0883>

**Нарики Фуджимото**<sup>5</sup>, <http://orcid.org/0000-0002-8570-4001>

**Найля Ж. Чайжунусова**<sup>2</sup>, <http://orcid.org/0000-0002-6660-7118>

**Толбай К. Рахыпбеков**<sup>2</sup>, <http://orcid.org/0000-0002-5699-3086>

<sup>1</sup> Международная кафедра ядерной физики, новых материалов и технологий,

Евразийский Национальный Университет им. Гумилева Л.Н., г. Астана, Казахстан;

<sup>2</sup> Государственный Медицинский Университет города Семей, г. Семей, Казахстан;

<sup>3</sup> Медицинский радиологический научный центр им. А.Ф. Цыба – филиал федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский радиологический центр» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Обнинск, Российская Федерация;

<sup>4</sup> Университет Науки Окаямы, г. Окаяма, Япония;

<sup>5</sup> Университет Хиросимы, г. Хиросима, Япония.

### **Резюме**

**Введение:** После облучения для реабилитации лиц пострадавших от неконтролируемого радиационного воздействия с целью реконструкции поглощенных доз, спустя длительное время (от нескольких дней до нескольких десятков лет) с успехом применяется метод, основанный на спектроскопии электронного парамагнитного резонанса (ЭПР – дозиметрия). Данный метод является очень эффективным инструментом для ретроспективной индивидуальной дозиметрии, так как дает возможность измерять материалы, которые являются частью человеческого тела [5, 6, 13, 14, 18, 20]. ЭПР измеряет количество стабильных свободных радикалов, созданных вследствие радиационного воздействия на зубную эмаль.

**Цель.** Определение возможности проведения исследований по измерению поглощенной дозы по зубной эмали крыс.

**Материалы и методы.** Экспериментальное исследование проводилось на 38 белых лабораторных крысах породы «Wistar». Млекопитающие были поделены на 4 группы: I - <sup>56</sup>MnO<sub>2</sub>, II - MnO<sub>2</sub>, III - <sup>60</sup>Co и IV - контроль, вес которых был в пределах 220 – 330 г. Первые две группы подверглись бета-облучению на ядерном реакторе ИВГ.1М («Байкал»), который находится в 70 км от города Курчатова. Гамма-облучение III группы проводилось в Региональном онкологическом диспансере города Семей.

После декапитации животных биологические материалы (зубы) были доставлены в лабораторию отделения прикладной физики Окаямского Университета Науки (Япония).

Измерения ЭПР спектров проводилось с использованием стандартных параметров для используемого оборудования (JEOL JES-FA100).

**Результаты:** Во время проведения измерений было показано, что образцы зубной эмали крыс не показали наличие ЭПР сигнала, после чего было определено, что возраст формирования зубной эмали недостаточен для проведения подобных исследований и требует более тщательного и качественного подхода к подбору крыс.

**Ключевые слова:** ЭПР спектр, зубная эмаль, крысы, образцы.

### Summary

## ON THE PROBLEM OF THE AGE OF RATS USED FOR ELECTRON PARAMAGNETIC RESONANCE SPECTROSCOPY STUDIES

**Kassym Sh. Zhumadilov**<sup>1</sup>, <http://orcid.org/0000-0002-0205-4585>

**Aisulu Zh. Saimova**<sup>2</sup>, <http://orcid.org/0000-0002-9564-732X>

**Sholpan Sh. Abralina**<sup>2</sup>, <http://orcid.org/0000-0002-3681-3332>

**Nurlan B. Sayakenov**<sup>2</sup>, <http://orcid.org/0000-0002-5082-7554>

**Valeriy F. Stepanenko**<sup>3</sup>, <http://orcid.org/0000-0002-3541-0515>

**Shin Toyoda**<sup>4</sup>, <http://orcid.org/0000-0002-1524-7167>

**Masaharu Hoshi**<sup>5</sup>, <http://orcid.org/0000-0001-6978-0883>

**Nariaki Fujimoto**<sup>5</sup>, <http://orcid.org/0000-0002-8570-4001>

**Nailya Zh. Chaizhunusova**<sup>2</sup>, <http://orcid.org/0000-0002-6660-7118>

**Tolebay K. Rakhyzbekov**<sup>2</sup>, <http://orcid.org/0000-0002-5699-3086>

<sup>1</sup> International Department of Nuclear Physics, New Materials and Technology, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan;

<sup>2</sup> Semey State Medical University, Semey, Kazakhstan;

<sup>3</sup> A. Tsyb Medical Research Radiological Center (MRRC) – National Medical Research Radiological Center Ministry of Health of Russian Federation, Obninsk, Russia;

<sup>4</sup> Okayama University of Science, Okayama, Japan;

<sup>5</sup> Hiroshima University, Hiroshima, Japan.

**Introduction:** After irradiation for the rehabilitation of persons affected by uncontrolled radiation exposure (from several days to several tens of years) for the purpose of reconstruct the absorbed doses after a long time applies a method that based on electron paramagnetic resonance spectroscopy (EPR – dosimetry). This method is a very effective tool for retrospective individual dosimetry, because it makes possible to measure materials that are part of the human body [5, 6, 13, 14, 18, 20]. ESR measures the quantity of stable radicals, created due to radiation exposure to tooth enamel.

**Aim of research:** Determination of the feasibility of conducting studies on the measurement of the absorbed doses use rat's enamel.

**Materials and methods.** The experimental study was carried out on 38 white laboratory rats of the «Wistar» breed. The mammals were separated on 4 groups: I - <sup>56</sup>MnO<sub>2</sub>, II - MnO<sub>2</sub>, III - <sup>60</sup>Co and IV – control, its weight were 220 – 330 gr.

The first two groups were beta-irradiated in the IVG.1M («Baikal») nuclear reactor, which is located 70 km from the city of Kurchatov. The group of third was gamma-irradiated in the Semey Oncology Center. After the animals' decapitation the biological materials (teeth) were delivered to the laboratory of the Department of Applied Physics of the Okayama University of Science (Japan).

Standard parameters of EPR spectra measurements were used for the equipment (JEOL JES-FA100).

**Results:** During the measurements it was shown that the samples of rats dental enamel showed no presence of the EPR signal, after which it was determined that the age of enamel formation is insufficient for such studies and requires more accurate and qualitative approach to the selection of the rats.

**Keywords:** EPR spectra, teeth enamel, rats, samples.

Түйіндеме

## ЭЛЕКТРОНДЫҚ ПАРАМАГНИТТІ РЕЗОНАНСТЫҢ СПЕКТРОСКОПИЯСЫ НЕГІЗІНДЕ ЖҮРГІЗІЛЕТІН ЗЕРТТЕУЛЕР ҮШІН ҚОЛДАНЫЛАТЫН ЕГЕУҚҰЙРЫҚТАРДЫҢ ЖАСТАРЫ

**Касым Ш. Жумадилов**<sup>1</sup>, <http://orcid.org/0000-0002-0205-4585>

**Айсулу Ж. Саимова**<sup>2</sup>, <http://orcid.org/0000-0002-9564-732X>

**Шолпан Ш. Абралина**<sup>2</sup>, <http://orcid.org/0000-0002-3681-3332>

**Нурлан Б. Саякенов**<sup>2</sup>, <http://orcid.org/0000-0002-5082-7554>

**Валерий Ф. Степаненко**<sup>3</sup>, <http://orcid.org/0000-0002-3541-0515>

**Шин Тойода**<sup>4</sup>, <http://orcid.org/0000-0002-1524-7167>

**Масахару Хоши**<sup>5</sup>, <http://orcid.org/0000-0001-6978-0883>

**Нариаки Фуджимото**<sup>5</sup>, <http://orcid.org/0000-0002-8570-4001>

**Найля Ж. Чайжунусова**<sup>2</sup>, <http://orcid.org/0000-0002-6660-7118>

**Толбай К. Рахыпбеков**<sup>2</sup>, <http://orcid.org/0000-0002-5699-3086>

<sup>1</sup> Ядролық физика, жаңа материалдар және технологиялар халықаралық кафедрасы, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия Ұлттық Университеті, Астана қ., Қазақстан;

<sup>2</sup> Семей қ. Мемлекеттік медицина Университеті, Семей қ., Қазақстан;

<sup>3</sup> Ресей Федерациясының Денсаулық сақтау Министрлігінің «Ұлттық медициналық радиологиялық зерттеу орталығы» Федералды мемлекеттік бюджет мекемесінің филиалы А.Ф. Цыбы атындағы медициналық радиологиялық ғылыми орталығы, Обнинск қ., Ресей Федерациясы;

<sup>4</sup> Окаяма Ғылым Университеті, Окаяма қ., Жапония;

<sup>5</sup> Хиросима Университеті, Хиросима қ., Жапония.

**Кіріспе:** Бақылаусыз радиацияның әсерінен сәулеленуге ұшыраған адамдарды сауықтыру үшін біршама уақыт өткеннен кейін (бірнеше күннен бірнеше жылға дейін) жұтылған дозаның мөлшерін анықтау мақсатында кеңінен электрондық парамагнитті резонанстың спектроскопиясы (ЭПР – дозиметрия) әдісі қолданылды. Бұл ретроспективті жеке – дара дозиметрия үшін жоғары әсерлі аспаптық әдіс болып саналады, өйткені адам денесінің белгілі бір бөліктерін өлшеуге мүмкіндік береді. ЭПР сүтқоректі егеуқұйрықтардың сіңірілген сәулеленудің мөлшерін анықтау үшін тіс кіреукесін дозиметрияның электрон-парамагнитті резонанс (ЭПР) әдісі қолданылды [5, 6, 13, 14, 18, 20]. ЭПР тіс кіреукесінде радиацияның әсерінен пайда болған тұрақты бос радикалдардың санын өлшейді.

**Мақсаты:** Тіс кіреукесін қолдана отырып егеуқұйрықтың жұтылған дозаның мөлшерін өлшеу мүмкіндігін анықтау.

**Материалдар мен әдістер.** Эксперименттік зерттеу 38 ақ зертханалық «Wistar» тұқымдас егеуқұйрықтарда жүргізілді. Сүтқоректілер 4 топқа бөлінді: I - <sup>56</sup>MnO<sub>2</sub>, II - MnO<sub>2</sub>, III - <sup>60</sup>Co және IV – бақылау, салмақтары 220 – 330 г. аралығында болды. Алғашқы екі топқа Курчатова қаласынан 70 км қашықтықта орналасқан ИВГ.1М («Байкал») ядролық реакторда бета-сәулелену жүргізілді. III топтың гамма-сәулеленуі Семей қаласының аймақтық онкологиялық диспансерінде жүргізілді.

Жануарларға декапитация жасалынғаннан кейін биологиялық материалдар Окаяма қаласының Ғылым Университетінің (Жапония) қолданбалы физика бөлімінің зертханасына жіберілді.

Пайдаланылатын жабдық үшін (JEOL JES-FA100) стандартты параметрлерін пайдалану арқылы ЭПР спектрін өлшеу.

**Нәтижесі:** өлшеу барысында егеуқұйрықтардың тіс кіреуекесінің сынамаларында ЭПР сигналы анықталмаған, осыдан кейін осы сияқты зерттеулер үшін тіс кіреуекесінің қалыптасу мерзімі жеткіліксіз екені анықталды. Егеуқұйрықтарды іріктеу мұқият және сапалы жүргізген жөн.

**Түйінді сөздер:** ЭПР шоғыры, тіс кіреуекесі, егеуқұйрықтар, сынамалар.

#### **Библиографическая ссылка:**

Жумадилов К.Ш., Саимова А.Ж., Абралина Ш.Ш., Саякенов Н.Б., Степаненко В.Ф., Тойода Ш., Хоши М., Фуджимото Н., Чайжунусова Н.Ж., Рахыпбеков Т.К. К вопросу о возрасте крыс, используемых для проведения исследований, основанных на спектроскопии электронного парамагнитного резонанса // Наука и Здравоохранение. 2017. №2. С. 105-114.

Zhumadilov K.Sh., Saimova A.Zh., Abralina Sh.Sh., Sayakenov N.B., Stepanenko V.F., Toyoda Sh., Hoshi M., Fujimoto N., Chaizhunusova N.Zh., Rakhypbekov T.K. On the problem of the age of rats used for electron paramagnetic resonance spectroscopy studies. *Nauka i Zdravookhranenie* [Science & Healthcare]. 2017, 2, pp. 105-114.

Жумадилов К.Ш., Саимова А.Ж., Абралина Ш.Ш., Саякенов Н.Б., Степаненко В.Ф., Тойода Ш., Хоши М., Фуджимото Н., Чайжунусова Н.Ж., Рахыпбеков Т.К. Электрондық парамагнитті резонанстың спектроскопиясы негізінде жүргізілетін зерттеулер үшін қолданылатын егеуқұйрықтардың жастары // Ғылым және Денсаулық сақтау. 2017. №2. Б. 105-114.

#### **Введение.**

После облучения для реабилитации лиц пострадавших от неконтролируемого радиационного воздействия с целью реконструкции поглощенных доз, спустя длительное время (от нескольких дней до нескольких десятков лет), с успехом применяется метод, основанный на спектроскопии электронного парамагнитного резонанса (ЭПР – дозиметрия). Данный метод является очень эффективным инструментом для ретроспективной индивидуальной дозиметрии, так как дает возможность измерять материалы, которые являются частью человеческого тела [5, 6, 13, 14, 18, 20]. ЭПР измеряет количество стабильных свободных радикалов, созданных вследствие радиационного воздействия на зубную эмаль.

Экспериментальные исследования по определению воздействия ионизирующего излучения на живой организм проводят на лабораторных животных. Наш выбор пал на лабораторных крыс породы «Wistar», поскольку они устойчивы к различным видам инфекции [3].

Млекопитающие имеют четыре вида зубов, которые различаются по форме, функции, положению во рту, и были они заменены или нет. Имеются четыре типа зубов - это резцы, клыки, премоляры и моляры.

Крысы имеют резцы и коренные зубы. Резцами являются зубы в самой передней части рта млекопитающих. У крыс всего четыре резца (длинные, острые передние зубы, два сверху и два снизу). Крысиные резцы являются узкоспециализированными и используются, когда они что-то грызут. Они с открытыми корнями, это означает, что они растут на протяжении всей жизни.

Молярами являются зубы, расположенные в глубине рта, используемые для измельчения пищи, перед тем как ее проглотить.

Крысы имеют 12 коренных зубов, шесть на верхней и шесть на нижней челюсти (по три на каждой стороне каждой челюсти). Моляры никогда не заменяются.

Крысы имеют только один набор зубов во время их жизни (так называемый monophyodont) [12].

Коренные зубы крысы это 12 шлифовальных зубов, расположенные в задней части рта. Они широкие, плоские, непигментированные зубы, для размельчения пищи в волокнистую массу до приема внутрь. Когда крыса грызет, челюсть перемещается назад таким образом, что коренные зубы находятся в контакте друг с другом, но резцы нет. Следовательно, только коренные зубы участвуют в жевании - резцы не соприкасаются друг с другом, когда крыса грызет.

Крысы имеют три набора моляров (первый, второй и третий моляры). Первые моляры прорезаются на 19-й день после рождения, вторые на 21-ый. После того как второй моляр прорежется, крысы становятся самостоятельными. Третий коренной зуб появляется спустя две недели, на 35-40-й день. Шести недельная крыса имеет полный набор зубов, а на 125-й день молярный рост сильно замедляется. После этого коренные зубы продолжают расти и стираться, но темп очень медленный, так что этот процесс происходит почти незаметно [7, 12].

**Целью** данной работы является определение возможности проведения исследований по измерению поглощенной дозы по зубной эмали крыс.

**Материалы и методы:** В нашем экспериментальном исследовании приняли участие белые лабораторные крысы-самцы породы «Wistar» из Казахского научного центра карантинных и зоонозных инфекций им. М. Айкимбаева, паспорт здоровья KZ № 1500001833., Казахстан. Крысы «Wistar» - это первые стандартизированные животные, которые были выведены в 1906 году в Вистаровском институте [2]. Важным преимуществом белых лабораторных крыс перед другими животными является то, что они более устойчивы к инфекционным заболеваниям и дают большой приплод [10].

Млекопитающие были поделены на 4 группы: I -  $^{56}\text{MnO}_2$ , II -  $\text{MnO}_2$ , III -  $^{60}\text{Co}$  и IV - контроль, в общем 38 крыс, вес которых был в пределах 220 – 330 г.

Над первой группой животных распыляли радиоактивный порошок марганца ( $^{56}\text{MnO}_2$ ), который был получен на ядерном реакторе ИВГ.1М («Байкал-1») путем нейтронной активации порошка  $\text{MnO}_2$ , флюенс нейтронов был равен  $4 \times 10^{14}$  н/см<sup>2</sup>, время облучения 2000с. Ядерный реактор находится на Семипалатинском полигоне, в 70 км от города Курчатова и в 150 км от г. Семей.  $^{56}\text{MnO}_2$  был распылен над млекопитающими в специальном устройстве, которое состоит из внутреннего и внешнего экспериментальных боксов, пневматической системы распыления активированного нейтронами порошка  $^{56}\text{MnO}_2$ , соединенную с контейнером, содержащим радиоактивный порошок и систему поддува

сжатым воздухом. Устройство обеспечивает следующие условия облучения: пневматическое распыление порошкообразного  $^{56}\text{MnO}_2$  над экспериментальными животными с использованием пневматической системы со сжатым воздухом, предотвращения распространения порошка  $^{56}\text{MnO}_2$  в экспериментальной комнате путем применения внутреннего бокса с экспериментальными животными, расположенного во внешнем изолированном боксе, защиту персонала от высокого уровня облучения во время транспортировки и при размещении контейнера с высокой активностью  $^{56}\text{MnO}_2$  (контейнер со свинцовой защитой толщиной 45 мм), обеспечения возможности дыхания животных во время облучения с использованием воздушного фильтра для поступления воздуха и предохранения распространения наружу частиц порошка, имеющих размеры пылевидных частиц почвы, принудительную вентиляцию с использованием отверстий во внутреннем боксе с животными [4]. Начальная активность распыленного порошка была равна  $2,74 \times 10^8$  Бк.

Над второй группой крыс, в специальном блоке, распыляли не активированный марганец ( $\text{MnO}_2$ ).

Третью группу крыс подвергли прямому облучению однократной дозой (2 Гр) гамма-излучения  $^{60}\text{Co}$  мощностью 2,6 Гр/мин с использованием чешского радиотерапевтического устройства «Teragam K-2 unit» (UJP Прага, Чехия) в онкологическом диспансере г. Семей. Во время экспозиции животных помещали в специально сконструированные боксы из органического стекла с отдельными отсеками для каждой крысы.

Четвертая группа – контрольная, составили интактные животные.

По окончании эксперимента животные были умерщвлены методом декапитации в Объединённой научно – учебной лаборатории ГМУ г. Семей.

По окончании декапитации биологические материалы, то есть зубы животных были отправлены в лабораторию отделения прикладной физики Окаямского Университета Науки (г. Окаяма, Япония).

Были взяты образцы зубов 38 крыс. Для исследований использовали только моляры.

ЭПР измерения были выполнены не менее чем через 10 дней после облучения и подготовки проб для того, чтобы все переходные излучения и механически вызванные сигналы ослабли или пришли в равновесное состояние [17].

Измерения были осуществлены в диапазоне частот X на ЭПР-спектрометре JEOL JES-FA 100 (Япония) при комнатной температуре термодинамического равновесия 21<sup>o</sup> С. Спектрометр снабжен схемой кавитационного течения ТЭ ES-UCX2 с высоким коэффициентом добротности. Были установлены следующие параметры спектрального документирования: амплитуда модулирующего сигнала, 0,3 Мт, частота модуляции, 100 кГц, ресивер временной постоянной, 30 мс, время развертки, 30 сек., кадровая развертка, 10 Мт, микроволновая мощность, 2 мВт; серия спектральных обследований, 40, время набора спектров, 20 мин. Микроволновая мощность и время набора были выбраны после их оптимизации, как описано ниже, для достижения наилучшей точности определения доз [8, 9, 11, 19].

Для ЭПР измерений, пробы эмали были помещены в кварцевую пробоотборную трубку JEOL с внешним диаметром 4 мм и внутренним диаметром 3 мм. Та же самая трубка была использована для всех проб. Трубка была помещена в СВЧ-резонатор таким образом, чтобы центр пробы совпал с центром резонатора. Сигнал содержащего двуокись марганца образца маркера, установленного в резонаторе, фиксировался наряду со спектрами пробы эмали. Среднее воздействие спектральной анизотропии каждой пробы измерялось 4 раза, пробу взбалтывали между замерами. Специально разработанное программное обеспечение было использовано для выделения вызываемого облучением сигнала (ВОС) из общего ЭПР спектра и определения его интенсивности (или удвоенной амплитуды) [11, 15, 16].

Данный эксперимент проходил, основываясь на Закон № 745, об утверждении Правил проведения доклинических (неклинических) исследований биологически активных веществ, который был утвержден приказом Министра здравоохранения Республики Казахстан 19 ноября 2009 года [2],

также соблюдались все требования Европейской конвенции о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или в иных научных целях (Страсбург, 18 марта 1986г). По завершению данного исследования животных подвергли декапитации с использованием «кетамин» [1]. Согласно требованиям экспериментальных исследований перед началом эксперимента было получено разрешение Этического комитета Государственного медицинского университета города Семей (ГМУ г. Семей), протокол № 5 от 16.04.2014г.

Эксперимент был выполнен в 2014-2016 годах в рамках научно – исследовательской работы «Беспрецедентное мультицентровое экспериментальное исследование влияния ионизирующего излучения на живой организм с использованием ядерного реактора», номер госрегистрации 0115РК03153.

#### **Результаты исследования.**

В ходе проведения измерений зубной эмали крыс, была обнаружена проблема отсутствия ЭПР сигнала у некоторых образцов. Образцы, где сигнал был, оказались неинформативными для предоставления данных.

#### **Обсуждение результатов.**

Экспериментальные результаты измерений спектров показаны на Рис.1. На рисунках а, в, д изображены спектры с присутствием сигнала ЭПР. На некоторых он ярко выражен (Рис. 1в и 1д), на Рис. 1а менее, что может быть следствием небольшой массы образца. На Рис. 1 (б, г, е) изображены спектры, на которых полностью отсутствует сигнал ЭПР. Причиной отсутствия сигнала может служить недостаточный возраст формирования зубной эмали у моляров, которые были использованы при измерениях. Такое же отсутствие сигнала наблюдалось при измерениях резцов крыс, но как известно резцы крыс постоянно обновляются и для формирования ЭПР центров в резцах недостаточно времени.

Продолжительность жизни зубной эмали для образцов в правой колонке оказалась недостаточной для того, чтобы результаты измерений были бы успешными для целей определения поглощенной дозы как это было неоднократно сделано в случае с зубной эмалью человека [13-16].

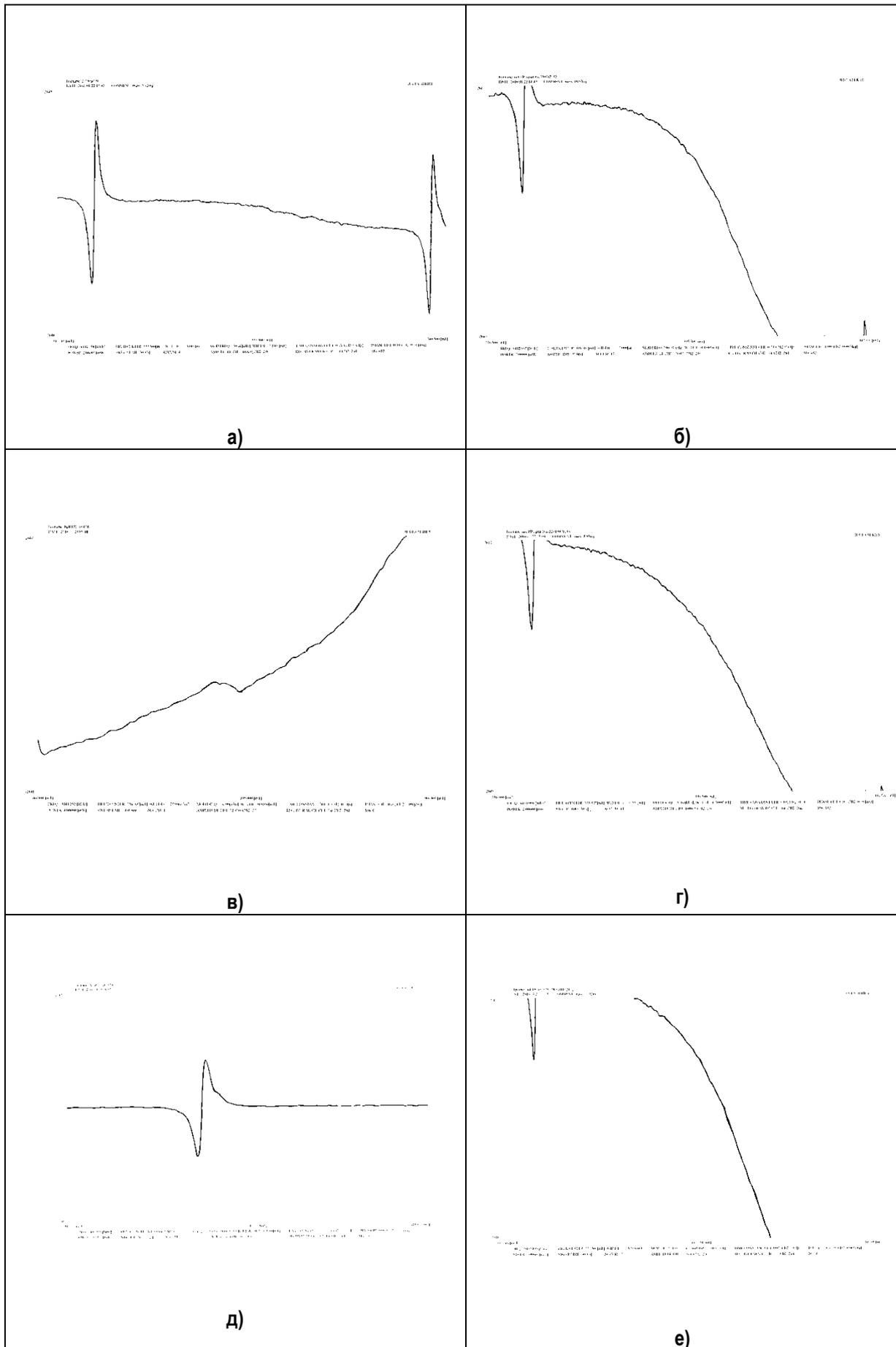


Рис.1. Спектры зубной эмали крыс с ЭПР сигналом (а, в, д) и без ЭПР сигнала (б, г, е).

Продолжительность жизни зубной эмали для образцов в правой колонке Рис.1 (б, г, е) оказалась недостаточной исходя из проведенных ранее исследований в области определения поглощенной дозы для зубной эмали человека [13, 14].

#### **Выводы.**

Таким образом, проведенные исследования и полученные результаты подтверждают предыдущие исследования и требуют более тщательного подхода к вопросу о выборе крыс для ЭПР дозиметрических исследований.

**Конфликт интересов:** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов в определении структуры исследования, при сборе, анализе и интерпретации данных.

#### **Литература:**

1. Европейская конвенция о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или в иных научных целях// Параграф. Online.zakon.kz (дата обращения 20.12.2014)

2. Закон об утверждении Правил проведения доклинических (неклинических) исследований биологически активных веществ. Утверждены приказом Министра здравоохранения Республики Казахстан от 19 ноября 2009 года № 745. URL: <http://egov.kz/> (дата обращения 29.11.2014)

3. *Использование крыс в эксперименте*. 07.09.2012. URL: <http://handcent.ru/laboratorye-zhivotnye/416-ispolzovanie-krysv-eksperimente-chast-1.html>

4. Степаненко В.Ф., Рахымбеков Т.К., Каприн А.Д. и соавт. Облучение экспериментальных животных активированной нейтронами радиоактивной пылью: разработка и реализация метода – первые результаты международного многоцентрового исследования // Радиация и риск. 2016. Том 25. № 4. С.111-125.

5. Хайлов А.М., Иванников А.И., Скворцов В.Г. Оценка дозы смешанного гамма – нейтронного излучения по результатам спектроскопии ЭПР образцов зубной эмали и дентина при облучении в фантоме головы человека // Радиация и риск. 2013. Том 22. № 4. С.30-36

6. *Fattibene P., Wieser A., Adolfsson E. et al.* The 4th International Comparison on EPR Dosimetry with Tooth Enamel. Part 1: Report on the results // Radiat. Meas. 2011. 46. P. 765-771.

7. *IAEA Report.* Use of electron paramagnetic resonance dosimetry with tooth enamel for retrospective dose assessment. Report of a coordinated research project // IAEA-TECDOC-1331. 2002. Vienna.

8. *Ivannikov A.I., Sanin D., Nalapko M. et al.* Dental enamel EPR dosimetry: comparative testing of the spectra processing methods for determination of Radiation induced-signal amplitude. Health Phys. 2010. 98. P. 345-351.

9. *Ivannikov A.I., Skvortsov V.G., Stepanenko V.F., Zhumadilov K.Sh.* Comparative analysis between radiation doses obtained by epr dosimetry using tooth enamel and established analytical methods for the population of radioactively contaminated territories // Radiat. Prot. Dosim. 2014. 159. P. 125-129.

10. *Ivannikov A.I., Trompier F., Gaillard-Lecanu E. et al.* Optimization of recording conditions for the electron paramagnetic resonance signal used in dental enamel dosimetry // Radiat. Prot. Dosim. 2002. 100. P. 531-538.

11. *Ivannikov A., Zhumadilov K., Tieliewuhan E. et al.* Results of EPR dosimetry for population in the vicinity of the most contaminating radioactive fallout trace after the first nuclear test in the Semipalatinsk Test Site // J. Radiat. Res. 2006. 47. P. A39-A46.

12. Rat teeth. <http://www.ratbehavior.org/Teeth.htm> [accessed date] 20.12.2014)

13. *Sholom S., Desrosiers M., Chumak V. et al.* UV effect in tooth enamel and their possible application in EPR dosimetry with front teeth // Health Phys. 2010. 98. P. 360-368.

14. *Tielewuhan E., Ivannikov A., Zhumadilov K. et al.* Spectra processing at tooth enamel dosimetry: analytical description of EPR spectrum at different microwave power // Radiat. Meas. 2006. 41. P. 410-417.

15. *Zhumadilov K., Ivannikov A., Apsalikov K. et al.* Results of tooth enamel EPR dosimetry for population living in the vicinity of the Semipalatinsk nuclear test site // Radiat. Meas. 2007. 42. P. 1049-1052.

16. Zhumadilov K., Ivannikov A., Apsalikov K.N. et al. Radiation dose estimation by tooth enamel EPR dosimetry for residents of Dolon and Bodene // *J. Radiat. Res.* 2006. 47. P. A47-A53.

17. Zhumadilov K.S., Ivannikov A.I., Skvortsov V.G. et al. Tooth enamel EPR dosimetry: selecting optimal spectra registration parameters and effects of sample mass on sensitivity // *J. Radiat. Res.* 2005. 46. P. 435-442.

18. Zhumadilov K., Ivannikov A., Stepanenko V. et al. EPR pilot study on the population of Stepnogorsk city living in the vicinity of a uranium processing plant // *Radiat. Environ. Biophys.* 2015. V. 54. P. 145-149.

19. Zhumadilov K., Ivannikov A., Stepanenko V. et al. ESR dosimetry study of population in the vicinity of the Semipalatinsk Nuclear Test Site // *J. Radiat. Res.* 2013. 54. P. 775-779.

20. Zhumadilov K., Stepanenko V., Ivannikov A. et al. Measurement of absorbed doses from X-ray baggage examinations to tooth enamel by means of ESR and glass dosimetry // *Radiat. Environ. Biophys.* 2008. V. 47. P. 541-545.

#### References:

1. Evropeiskaya konventsiya o zashchite pozvonochnykh zhivotnykh, ispolzuemykh dlya eksperimentov ili v inykh nauchnykh tselyakh [European Convention for the Protection of Vertebrate Animals used for Experimental and other Scientific Purposes]. Paragraf. Online.zakon.kz (data obrashcheniya [accessed date] 20.12.2014)

2. Zakon ob utverzhdenii Pravil provedeniya doklinicheskikh (neklinicheskikh) issledovaniy biologicheskii aktivnykh veshchestv. Utverzhdeny prikazom Ministra zdravookhraneniya Respubliki Kazakhstan ot 19 noyabrya 2009 goda № 745 [The law on the approval of Rules of carrying out pre-clinical (non-clinical) research of biologically active substances. Approved by the Minister of Health of the Republic of Kazakhstan 19/11/2009 № 745]. URL: <http://egov.kz/> (data obrashcheniya [accessed date] 29.11.2014)

3. Ispolzovanie krysv v eksperimente [The use of rats in the experiment]. 07.09.2012. URL: <http://handcent.ru/laboratornye-zhivotnye/416-ispolzovanie-krysv-v-eksperimente-chast-1.html>

4. Stepanenko V.F., Rakhypbekov T.K., Kaprin A.D. et al. Oblucheniye eksperimental'nykh zhivotnykh aktivirovannoi neitronami radioaktivnoi pyl'yu: razrabotka i realizatsiya metoda – pervye

rezul'taty mezhdunarodnogo mnogotsentrovogo issledovaniya [Irradiation of laboratory animals by neutron activated dust: development and application of the method – first results of international multicenter study]. *Radiatsiya i risk* [Radiation and risk]. 2016, T.25. № 4, pp.111-125 [in Russian].

5. Khailov A.M., Ivannikov A.I., Skvortsov V.G. Otsenka dozy smeshannogo gamma – neitronnogo izlucheniya po rezul'tatam spektroskopii EPR obraztsov zubnoi emali i dentina pri obluchenii v fantome golovy cheloveka [Estimation of the dose based on EPR spectroscopy of tooth enamel and dentin samples at mixed gamma – neutron irradiation in a head phantom]. *Radiatsiya i risk* [Radiation and risk]. 2013, T. 22. № 4, pp.30-36 [in Russian].

6. Fattibene P., Wieser A., Adolfsson E. et al. The 4th International Comparison on EPR Dosimetry with Tooth Enamel. Part 1: Report on the results. *Radiat. Meas.* 2011, 46, pp. 765-771.

7. IAEA Report. Use of electron paramagnetic resonance dosimetry with tooth enamel for retrospective dose assessment. Report of a coordinated research project. *IAEA-TECDOC - 1331*. 2002. Vienna.

8. Ivannikov A.I., Sanin D., Nalapko M. et al. Dental enamel EPR dosimetry: comparative testing of the spectra processing methods for determination of Radiation induced-signal amplitude. *Health Phys.* 2010, 98, pp. 345-351.

9. Ivannikov A.I., Skvortsov V.G., Stepanenko V.F., Zhumadilov K.Sh. Comparative analysis between radiation doses obtained by epr dosimetry using tooth enamel and established analytical methods for the population of radioactively contaminated territories. *Radiat. Prot. Dosim.* 2014, 159, pp. 125-129.

10. Ivannikov A.I., Trompier F., Gaillard-Lecanu E. et al. Optimization of recording conditions for the electron paramagnetic resonance signal used in dental enamel dosimetry. *Radiat. Prot. Dosim.* 2002, 100, pp. 531-538.

11. Ivannikov A., Zhumadilov K., Tieliewuhan E. et al. Results of EPR dosimetry for population in the vicinity of the most contaminating radioactive fallout trace after the first nuclear test in the Semipalatinsk Test Site. *J. Radiat. Res.* 2006, 47, pp. A39-A46.

12. Rat teeth. <http://www.ratbehavior.org/Teeth.htm> [accessed date] 20.12.2014).
13. Sholom S., Desrosiers M., Chumak V. et al. UV effect in tooth enamel and their possible application in EPR dosimetry with front teeth. *Health Phys.* 2010, 98. pp. 360-368.
14. Tielewuhan E., Ivannikov A., Zhumadilov K. et al. Spectra processing at tooth enamel dosimetry: analytical description of EPR spectrum at different microwave power. *Radiat. Meas.* 2006, 41. pp. 410–417.
15. Zhumadilov K., Ivannikov A., Apsalikov K. et al. Results of tooth enamel EPR dosimetry for population living in the vicinity of the Semipalatinsk nuclear test site. *Radiat. Meas.* 2007, 42. pp. 1049-1052.
16. Zhumadilov K., Ivannikov A., Apsalikov K.N. et al. Radiation dose estimation by tooth enamel EPR dosimetry for residents of Dolon and Bodene. *J. Radiat. Res.* 2006, 47. pp. A47-A53.
17. Zhumadilov K.S., Ivannikov A.I., Skvortsov V.G. et al. Tooth enamel EPR dosimetry: selecting optimal spectra registration parameters and effects of sample mass on sensitivity. *J. Radiat. Res.* 2005, 46. pp. 435-442.
18. Zhumadilov K., Ivannikov A., Stepanenko V. et al. EPR pilot study on the population of Stepnogorsk city living in the vicinity of a uranium processing plant. *Radiat. Environ. Biophys.* 2015, V. 54. pp. 145-149.
19. Zhumadilov K., Ivannikov A., Stepanenko V. et al. ESR dosimetry study of population in the vicinity of the Semipalatinsk Nuclear Test Site. *J. Radiat. Res.* 2013, 54. pp. 775-779.
20. Zhumadilov K., Stepanenko V., Ivannikov A. et al. Measurement of absorbed doses from X-ray baggage examinations to tooth enamel by means of ESR and glass dosimetry. *Radiat. Environ. Biophys.* 2008, V. 47. pp. 541-545.

**Контактная информация:**

**Жумадилов Касым Шаймарданович** – Заведующий Международной кафедры ядерной физики, новых материалов и технологий, Евразийского Национального Университета имени Л.Н. Гумилева.

**Почтовый адрес:** г. Астана, 010008, ул. Мунайтпасова 13, офис 300

**E-mail:** kassymzh@yahoo.com

**Телефон:** 8-701-901-89-69.