

УДК 543.429.22

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ФОНОВЫХ ДОЗ, ПОЛУЧЕННЫХ ЭПР МЕТОДОМ ПО ЗУБНОЙ ЭМАЛИ ЖИТЕЛЕЙ ГОРОДОВ СТЕПНОГОРСК И СЕМИПАЛАТИНСК**<sup>1)</sup> Оразалина И.С., <sup>1)</sup> Абышев Б.К., <sup>2)</sup> Иванников А.И., <sup>1)</sup> Жумадилов К.Ш.<sup>1)</sup> *Евразийский Национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан*<sup>2)</sup> *МРНЦ им. А.Ф. Цыба – филиал ФГБУ «НМИРЦ» Минздрава России, Обнинск, Россия*

На основе сравнений данных фоновых доз зубных эмалей жителей двух городов с помощью программы GraphPad Prism был сделан t-test (сравнительный анализ). Ранее полученные результаты собранных 20 коренных зубов жителей города Семипалатинск показали, что влияние ядерных испытаний является основной причиной радиационного воздействия, также было собрано 27 коренных зубов жителей города Степногорск, подвергшихся радиоактивному воздействию урано-перерабатывающего предприятия.

**ВВЕДЕНИЕ**

Экспериментальное определение дозы облучения электронно-парамагнитным резонансом по зубной эмали (ЭПР дозиметрия) является очень важным инструментом для реконструкции дозы при радиационных авариях. Известно, что спектр облученной зубной эмали состоит из двух компонентов: фоновый сигнал (ФС) и радиационно-индуцированный сигнал (РИС), которые перекрывают друг друга. Интенсивность РИС зависит от дозы, поглощенной эмалью, и используется для реконструкции дозы. В области низких доз (менее 0,5 Гр), что представляет интерес для радиационной эпидемиологии) точность определения дозы с использованием метода дозиметрии ЭПР существенно зависит от качества спектров ЭПР, который определяется чувствительностью спектрометра, массой образца и параметрами регистрации спектра, такие как мощность СВЧ, амплитуда модуляции, время накопления и другие. В то же время точность зависит от процедуры обработки спектров, которая используется для определения интенсивности РИС. Поэтому качество спектров должно оцениваться по критерию того, что он должен обеспечивать максимальную точность определения дозы относительно того, что используется некоторая процедура обработки спектров [1–5].

Был использован метод ЭПР спектроскопии эмали зубов при проведении обследования населения г. Степногорск Акмолинской области, а также г. Семипалатинск Восточно-Казахстанской области, подвергшихся радиоактивному излучению, тем самым оценив фоновую дозу. Полученные результаты были почти одинаковы, однако для исхода точных показателей решили сделать сравнительный анализ, что является основной задачей данной работы.

**МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ**

Измерения спектров ЭПР проводились при стабилизированной комнатной температуре 21 °С с помощью спектрометра ЭПР JEOL JES-FA100, работающего в X-диапазоне, и снабженного цилиндрической резонаторной решеткой ES-UCX2 с высоким качеством (Q-factor) режима TE 011. Согласно показаниям спектрометра, пустая полость имеет коэффи-

циент  $Q = 7440$  и изменяется на 6000–7436 при нагрузке пробоотборной трубки и образца эмали. Использовались следующие условия и параметры записи спектров: амплитуда модуляции 0,3 мТл, частота модуляции 100 кГц, постоянная времени приемника 30 мс, время развертки 30 с, ширина развертки 10 мТл. Если не указано иное, амплитуда приемника была установлена 1000, мощность микроволн, подаваемая в полость, составляла 2 мВт, число спектральных сканов составляло 40, что соответствовало времени накопления спектров 20 мин. При оптимизации условий записи использовались различные настройки мощности СВЧ и времени накопления [6–9].

Экспериментальные данные по ВКО показали, что минимальные и максимальные дозы были  $16 \pm 36$  и  $65 \pm 24$  мГр, соответственно. Результаты для среднего и медиана поглощенной дозы для общего количества образцов  $34 \pm 3,9$  и  $32,9$  мГр, соответственно. Средний возраст зубной эмали составляет 39 лет. Было обнаружено что средние дозы для различных участков отбора проб не было существенно ( $P = 0,57$ ); это говорит о том, что естественной радиоактивности в экспериментальных районах относительно однородным [10–12].

Из данных 27 собранных зубов жителей Степногорска было определено, что средний возраст зубной эмали составляет 58 лет, среди них которые 54 % женщин и 46 % мужчин. Среднее значение дозы было  $66 \pm 26$  мГр по образцам с зубной эмалью, сформированной до 1961 г. Минимальная оценка дозы составило  $11 \pm 29$  мГр [13–16].

Сложив результаты фоновых доз двух областей, получаем график сравнительного анализа (см. рисунок).

Из сравнения на рисунке видно, что средняя значимость фоновой дозы Семипалатинска, которая равна 71 мГр, превышает результат Степногорска, со средней фоновой дозой 34,73 мГр. Но максимальная доза для Степногорска, равная 279 мГр, значительно больше максимальной фоновой дозы для Семипалатинска, равной 153,3 мГр.

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ФОНОВЫХ ДОЗ, ПОЛУЧЕННЫХ ЭПР МЕТОДОМ  
ПО ЗУБНОЙ ЭМАЛИ ЖИТЕЛЕЙ ГОРОДОВ СТЕПНОГОРСК И СЕМИПАЛАТИНСК**

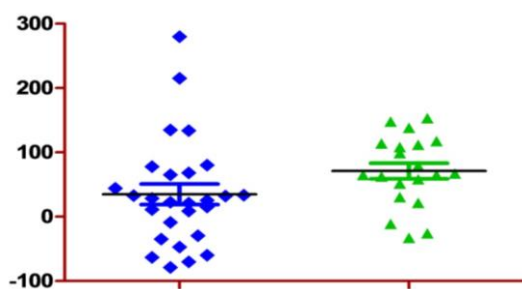


Рисунок. График сравнительного анализа фоновых доз по эмали зубов жителей Степногорска (♦) и Семипалатинска (▲)

**РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ**

При помощи Graphpad, на сайте мы сделали online-test. Вбили значения по городам Степногорск и Семипалатинск, и вывели общий сравнительный результат.

Значение P и статистическая значимость:

P- вероятность = 0,0291

Доверительный интервал:

– среднее колонки = 0,0072

– 95 % доверительный интервал этой разницы: от -74,24 до -4,449

Промежуточные значения, используемые в расчетах:

– t = 2,360

– df = 19

Стандартная ошибка разности = 0,5384

Таблица 1. Сравнительный анализ одиночных спектров

	Степногорск	Семипалатинск
<b>N</b>	27	20
<b>Minimum</b>	-78,80	-32,70
<b>25 % percentile</b>	-29,50	35,70
<b>Median</b>	25,40	66,00
<b>75 % percentile</b>	68,30	113,4
<b>Maximum</b>	279	153,3
<b>Mean</b>	34,73	71,00
<b>SD</b>	83,34	54,66
<b>SEM</b>	16,04	12,22

**ЛИТЕРАТУРА**

1. IAEA Report. Use of electron paramagnetic resonance dosimetry with tooth enamel for retrospective dose assessment. Report of a coordinated research project / IAEA-TECDOC-1331. Vienna. – 2002.
2. Tielewuhan E., Ivannikov A., Zhumadilov K., Nalapko M., Tikunov D., Skvortsov V., Stepanenko V., Toyoda Sh., Tanaka K., Endo S., Hoshi M. Spectra processing at tooth enamel dosimetry: analytical description of EPR spectrum at different microwave power / Radiat. Meas. – 2006. – 41. – P. 410–417.
3. Deliglasov V.I., Gorin V.V., Maltzev A.L., Matushenko A.M., Safonov F.F. and Smagulov S.G. Radiological situation at Semipalatinsk test site bordering regions of the Kazakh SSR / Bulletin of the Public information center by atomic Energy (CNIИ atominform). Moscow. Russia. – 1991. – 4. – P. 46–52.
4. Zhumadilov K., Stepanenko V., Ivannikov A., Zhumadilov Z., Toyoda S., Tanaka K., Endo S. and Hoshi M. Measurement of absorbed doses from X-ray baggage examinations to tooth enamel by means of ESR and glass dosimetry / Radiat. Environ. Biophys. – 2008. – 47. – P. 541–545.
5. Stepanenko V.F., Hoshi M., Dubasov Yu.V., Sakaguchi A., Yamamoto M., Orlov M., Bailiff I.K., Ivannikov A.I., Skvortsov V.G., Kryukova I.G., Zhumadilov K.S., Apsalikov K.N., Gusev B.I. A gradient of radioactive contamination in Dolon village near SNTS and comparison of computed dose values with instrumental estimates for the 29 August, 1949 nuclear test / J. Radiat. Res. – 2006. – 47. – P. A149–A158.
6. Dubasov U.V., Matushenko A.M., Filonov N.P. Semipalatinsk Test Site: estimation of radiological consequences / Bulletin of the Public information center by atomic Energy (CNIИ Atominform). Special issue. Moscow. Russia. – 1993.

Таблица 2. Сравнительный анализ среднего по трем спектрам

Колонка В	Семипалатинск
<b>против</b>	
Колонки А	Степногорска
<b>Значение P</b>	0,0974
<b>t, df</b>	t = 1,693 ; df = 45
<b>насколько велика разница?</b>	
<b>Среднее значение + -SAM колонки А</b>	34,73±16,04 N=27
<b>Среднее значение + -SAM колонки В</b>	71,00±12,22 N=20
<b>95 % доверительный интервал</b>	-79,46 до 6,920

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В данной работе были исследованы фоновые дозы ЭПР методом по зубной эмали жителей городов Степногорск и Семипалатинск. Ранее готовые результаты были использованы для проведения сравнительного анализа с помощью программы GraphPad, где был сделан t-test, в ходе которого был построен ряд зависимостей, которые показали насколько велика разница фоновых доз двух областей. Из этих сравнений нам стало известно, что по средней значимости жители Семипалатинска больше подвержены фоновому облучению, несмотря на то, что максимальная доза для Степногорска намного больше. Возможно, что такой результат обусловлен ядерными испытаниями на Семипалатинском полигоне.

**БЛАГОДАРНОСТЬ**

Авторы статьи выражают искреннюю благодарность за финансовую поддержку из средств Министерства образования и науки Республики Казахстан (на 2018–2020 гг. по грантовому финансированию субъектов научной и/или научно-технической деятельности по проекту ИРН AP05135470).

7. Artemev O.I., Akhmetov M.A., Larin V.N., Pritskaya L.D., Zhumadilov K.S., Silkina G.P., Subbotin S.B., Radiation survey and radionuclide analysis of radioactive plumes from the former Semipalatinsk nuclear test site / Conference: NATO Advanced Research Workshop on Nuclear Physical Methods in Radioecological Investigations of Nuclear Test Sites. Place: Almaty, Kazakhstan, June 07–10, 1999. Nuclear physical methods in radioecological investigations of nuclear test sites. NATO advanced science institute series, sub-series: Disarmament technologies. – 2000. – 31. – P. 127–143.
8. Ivannikov A.I., Trompier F., Gaillard-Lecanu E., Skvortsov V.G. and Stepanenko V.F. Optimization of recording conditions for the electron paramagnetic resonance signal used in dental enamel dosimetry / Radiat. Prot. Dosim. – 2002. – 100. – P. 531–538.
9. Zhumadilov K., Ivannikov A., Apsalikov K., Zhumadilov Zh., Stepanenko V., Skvortsov V., Berekenova G., Toyoda S., Endo S., Tanaka K., Miyazawa C. and Hoshi M. 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.
10. Zhumadilov K., Ivannikov A., Zhumadilov Z., Stepanenko V., Apsalikov K., Rodzi M., Zhumadilova A., Toyoda S., Endo S., Tanaka K., Okamoto T. and Hoshi M. ESR dosimetry study on population of settlements nearby Ust-Kamenogorsk city, Kazakhstan / Radiat. Environ. Biophys. – 2009. – 48. – P. 419–425.
11. Zhumadilov K., Ivannikov A., Stepanenko V., Toyoda S., Zhumadilov Z. and Hoshi M. ESR dosimetry study of population in the vicinity of the Semipalatinsk Nuclear Test Site / J. Radiat. Res. – 2013. – 54. – P. 775–779.
12. Stepanenko V.F., Hoshi A., Ivannikov A.I., Bailiff I.K., Zhumadilov K., Skvortsov V.G., Argembaeva R., Tsyb A.F. The 1st Nuclear Test in the former USSR of 29 August, 1949: comparison of individual dose estimates by modeling with EPR retrospective dosimetry and luminescence retrospective dosimetry data for Dolon village, Kazakhstan / Radiat. Meas. – 2007. – 42. – P. 1041–1048.
13. Ivannikov A., Zhumadilov K., Tieliewuhan E., Jiao L., Apsalikov K.N., Berekenova G., Zhumadilov Zh., Toyoda Sh., Miyazawa C., Skvortsov V., Stepanenko V., Endo S., Tanaka K. and Hoshi M. 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.
14. Zhumadilov K., Ivannikov A., Apsalikov K.N., Zhumadilov Zh., Toyoda Sh., Tieliewuhan E., Endo S., Tanaka K., Miyazawa C., Okamoto T. and Hoshi M. Radiation dose estimation by tooth enamel EPR dosimetry for residents of Dolon and Bodene / J. Radiat. Res. – 2006. – 47. – P. A47–A53.
15. Ivannikov A.I., Sanin D., Nalapkо M., Skvortsov V.G., Stepanenko V.F., Tsyb A.F., Trompier F., Zhumadilov K., and Hoshi M. 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.
16. 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.

### СТЕПНОГОРСК ЖӘНЕ СЕМЕЙ ҚАЛАЛАРЫ ТҮРҒЫНДАРЫНЫҢ ТІС ЭМАЛІ БОЙЫНША ЭПР ӘДІСІМЕН АЛЫНҒАН ФОНДЫҚ ДОЗАЛАРДЫҢ САЛЫСТЫРМАЛЫ ТАЛДАУЫ

<sup>1)</sup> И.С. Оразалина, <sup>1)</sup> Б.К. Абышев, <sup>2)</sup> А.И. Иванников, <sup>1)</sup> К.Ш. Жумадилов

<sup>1)</sup> Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия Ұлттық Университеті, Астана, Қазақстан

<sup>2)</sup> А.Ф. Цыба атындағы МРФО – Ресей денсаулық сақтау министрлігі «ҰМРЗО» ФМБМ филиалы, Обнинск, Ресей

GraphPad Prism бағдарламасы көмегімен екі қала тұрғындарының тіс эмалі бойынша салыстырмалы талдау негізінде t-test жасалды. Семей қаласы бойынша жиналған 20 тістердің алдын ала алынған нәтижелері ядролық сынақтардың әсері радиациялық қауіп төнуінің бірден бір себебі екендігін көрсетсе, Степногорск қаласы тұрғындары арасынан жиналған 27 тістің нәтижесі бойынша, олар уран өндіргіш өндірістік шаруашылықтардың есебінен радиациялық қауіпке ұшыраған.

### COMPARATIVE ANALYSIS OF BACKGROUND DOSES OBTAINED BY EPR METHOD BY TOOTH ENAMEL OF RESIDENTS OF STEPNOGORSK AND SEMIPALATINSK

<sup>1)</sup> I.S. Orazalina, <sup>1)</sup> B.K. Aбышев, <sup>2)</sup> A.I. Ivannikov, <sup>1)</sup> K.Sh. Zhumadilov

<sup>1)</sup> L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

<sup>2)</sup> MRRC named after A.F. Tsyba – a branch of the FSBI «NMRCR» of the Ministry of Health, Obninsk, Russia

Based on comparisons of background doses of dental enamel in residents of two cities using the GraphPad Prism program, t-test was done (comparative analysis). Earlier results of collected 20 molars of Semipalatinsk residents showed that the influence of nuclear tests is the main cause of radiation exposure, and 27 molars of residents of Stepnogorsk were exposed to the radioactive effect of a uranium processing plant.