

УДК 621.039 614.8.086.52

**РЕЗУЛЬТАТЫ ЭПР ДОЗИМЕТРИИ ПО ЗУБНОЙ ЭМАЛИ НАСЕЛЕНИЯ,
ПРОЖИВАЮЩЕГО ВБЛИЗИ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ЯДЕРНОГО ПОЛИГОНА**¹⁾ Жумадилов К.Ш., ²⁾ Иванников А.И., ¹⁾ Сарсенова С.М., ²⁾ Степаненко В.Ф., ³⁾ Хоши М.¹⁾ Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан²⁾ МРНЦ им. А.Ф. Цыба – филиал ФГБУ «НМИРЦ» Минздрава России, Обнинск, Россия³⁾ Университет Хиросимы, Хиросима, Япония

В статье приведены результаты оценки поглощенной дозы вследствие испытаний на Семипалатинском испытательном ядерном полигоне населения проживающего в следующих населенных пунктах: Долонь, Мостик, Бодене методом ЭПР дозиметрии по зубной эмали.

ВВЕДЕНИЕ

В период с 1949 по 1962 год на полигоне Семипалатинска (СИП) было проведено 125 ядерных испытаний (в том числе 25 наземных ядерных испытаний). 29 августа 1949 года был произведен первый ядерный взрыв, который принес загрязнение радиоактивными осадками огромной территории к северо-востоку от эпицентра. Радиоактивное пыльное облако переносилось ветром, и его постепенное осаждение образовывало несколько следов радиоактивных выпадений [1, 2]. Нет данных, описывающих динамику осаждения радиоактивной пыли из облака в области, прилегающей к СИП. Это очень сложная процедура для восстановления индивидуальных и коллективных доз облучения, полученных местным населением.

ЭПР дозиметрия является одним из полезных инструментов для реконструкции дозы [3]. Этот метод может ретроспективно определять дозы облучения через более чем 40 лет после события воздействия. ЭПР измеряет количество стабильных радикалов, создаваемых радиационным воздействием в зубной эмали.

В исследовании участвовали группа ученых из Казахстана, Японии и России. Целью этой работы является определение доз облучения, получаемых населением сел, расположенных вблизи СИП (включая Долонь, Мостик и Бодене, расположенные вблизи следа радиоактивных осадков, сформированного в результате наиболее опасного ядерного испытания 1949 года [4, 5] и г. Курчатов, г. Семипалатинск) при помощи ЭПР дозиметрии по зубной эмали, полученных из образцов зубов собранных в этих селах и городах.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

С 2000 по март 2005 года было отобрано 112 образцов зубов по медицинским показаниям у взрослых жителей сел Долонь, Мостик, Бодене, городов Курчатова и Семипалатинска, которые находятся на расстоянии от 70 до 150 км от СИП. Однако 13 образцов зубов были отклонены из-за недостаточного количества эмали. Еще 11 зубов были собраны в качестве контроля у населения села Кокпекты (400 км к востоку от испытательного полигона), которое не

подвергалось радиоактивному воздействию. По той же причине позже были отклонены три образца из вышеприведенных одиннадцати.

Эмаль была механически отделена от дентина, при помощи твердосплавных зубных боров и разделялись алмазным резцом. Дентин осторожно удаляли, охлаждая водой, чтобы предотвратить нагрев образца, который может вызвать дополнительный ЭПР сигнал и существенно изменить его форму [3]. Эмаль была измельчена кусачками на гранулы диаметром 0,5–1,5 мм. Два разных образца были приготовлены из щечной и языковой частей каждого зуба.

Образцы эмали для калибровки дозы были приготовлены из моляров, собранных у населения села Кокпекты. Порошок зубной эмали, полученный из разных зубов, перемешивали и разделили на аликвоты по 100 мг. Аликвоты облучали дозами 0, 100, 200, 300, 500 и 1000 мГр соответственно источником ⁶⁰Со в Университете Хиросимы [6].

Измерения проводились по меньшей мере через десять дней после облучения и подготовки образца, чтобы все переходные и механические сигналы исчезли или пришли в равновесное состояние [3]. Измерения проводились в X-диапазоне на ЭПР-спектрометре JEOL JES-FA100 при стабилизированной комнатной температуре 21 °С. Спектрометр был оснащен цилиндрическим резонатором модель TE011 с высоким Q-фактором ES-UCX2. Параметры регистрации спектра были такими же, как и ранее опубликованные [7].

Специально разработанное компьютерное программное обеспечение [8] использовалось для извлечения радиационно-индуцированного сигнала (RIS) из полного спектра ЭПР и определения его интенсивности. Эта процедура способна конструировать полный спектр облученной эмали в RIS и фоновый сигнал (BGS) путем применения нелинейного метода наименьших квадратов [9] модельного спектра к экспериментальному. Процедура обработки спектра применялась в режиме с описанием BGS двумя компонентами, состоящими из суперпозиции гауссовских производных функций. Для всех спектров использовалось окно шириной 3,0 мТл (левая граница окна установки составляет –1,0 мТл, а пра-

вая граница +2,0 мТл по отношению к максимально-
му значению BGS) [7, 10].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Дозы для жителей Семипалатинска и города Курчатова были включены в этот отчет из опубликованных данных [11]. Наибольшие дозы 1300 мГр от Мостика и 2800 мГр от Семипалатинска нуждаются в дополнительном исследовании и не включены в настоящий анализ. Экспериментально определенная доза считалась состоящей из двух вкладов: доза от естественного радиационного фона, накопленная в течение срока службы зубной эмали, и доза, полученная в результате ядерных испытаний (избыточная доза). Последний вклад представляет интерес для реконструкции настоящих доз. Интенсивность RIS была преобразована в дозу, поглощенную эмалью D_{en} (выраженной в мГр), калиброванную с использованием гамма-источника ^{60}Co .

Время жизни зубной эмали было получено путем вычитания среднего возраста формирования для данной позиции зуба от возраста человека в момент измерения. Возраст формирования зубной эмали определялся в соответствии с опубликованными данными [3].

Для жителей Долони поглощенные дозы находились в диапазоне от -24 ± 37 до 496 ± 55 мГр. Образцы, приготовленные с языковой стороны и с щечной стороны молярных зубов (5–8), были выбраны для использования при реконструкции дозы. Для некоторых доз были получены отрицательные значения. Это связано с тем, что измерения проводились вблизи порога чувствительности метода. Естественно, что некоторые из значений становятся отрицательными в зависимости от их статистического распределения, определяемого из-за ошибок эксперимента. Отрицательные дозы, вероятно, являются результатом недооценки неопределенности оценки дозы. Уникальным источником может быть индивидуальное изменение фонового компонента дозы, которое оценивается по измерениям контрольных образцов, собранных в других селах.

Для всех образцов избыточные дозы рассчитывались по формуле:

$$D_{ex} = D_{en} - TA \cdot D_b,$$

где: D_{en} – доза, рассчитанная по автоматической программе, в мГр; TA – возраст эмали зубов, лет; D_b – фоновая доза, 0,8 мГр/год [10, 12].

Неопределенность определения дозы (E_r) определялась на основе полуэмпирической формулы, аналогичной представленной в [12].

На рисунке показаны индивидуальные определения избыточной дозы для разных лет образования эмали.

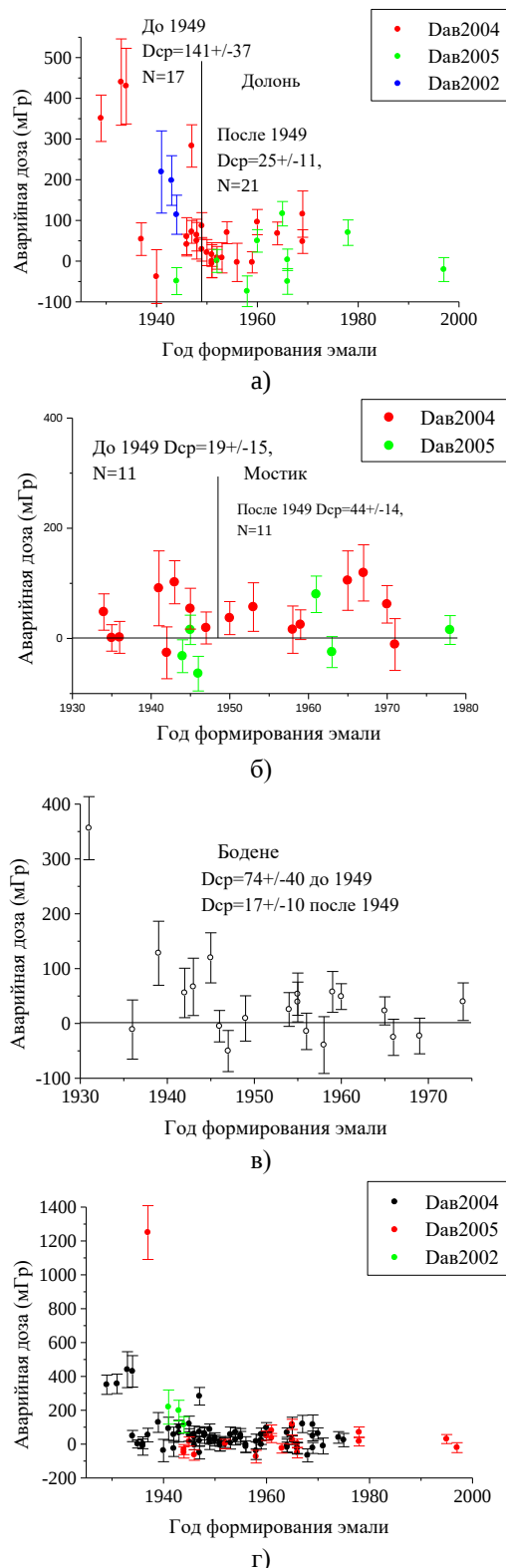


Рисунок. Превышение дозы в эмали по сравнению с годом образования эмали для Долони (а), Мостика (б), Бодене (в), Семипалатинска и Курчатова (г).

Примечание: средняя избыточная доза $D_{ав}$ (мГр); D_{ex2002} – избыточная доза, измеренная в 2002 году, D_{ex2004} – избыточная доза, измеренная в 2004 году, D_{ex2005} – избыточная доза, измеренная в 2005 году

Увеличенная доза была определена для одного образца, сформированного до 1949 года, соответствующего периоду наиболее загрязняющего окружающую среду ядерного испытания. Средняя избыточная доза для эмали, образовавшаяся до 1949 года для Долони, составляет $141 \pm 45,5$ мГр (рисунок (а)), для эмали, образовавшейся после 1949 года, средняя доза составляет 25 ± 11 мГр. Для Мостика избыточная доза до 1949 года составляет 19 ± 15 , а после 1949 года 44 ± 14 (рисунок (б)). Для Бодене избыточная доза до 1949 года составляет 74 ± 40 , а после 1949 года 17 ± 10 (рисунок (в)). Для Курчатова избыточная доза до 1949 года составляла 11 ± 20 , а после 1949 года 9 ± 27 (рисунок (г)), а для Семипалатинска избыточная доза 1949 года составляет 135 ± 31 , а после 1949 года 74 ± 35 (рисунок 1 (г)). Основная масса избыточных доз находится около порога чувствительности метода.

Для контрольных образцов избыточные дозы составляют от -66 ± 39 до 24 ± 39 мГр, для Долони от -74 ± 38 до 440 ± 106 мГр, для Мостика от -64 ± 32 до 119 ± 51 , для Бодене от -50 ± 38 до 356 ± 58 мГр, для Курчатова от -47 ± 85 до 56 ± 42 , а для Семипалатинска от 0 ± 46 до 268 ± 79 . Низкие дозы были обнаружены для группы с эмалью, образованной после 1962 года, с окончанием атмосферных ядерных испытаний. Дозовые значения для группы, имеющей эмаль, образованную до 1962 года, согласуются с оценками, основанными на официальных зарегистрирован-

ных данных, свидетельствующих о высоких уровнях осадков в период 1949–1962 годов. Экспериментально измеренные индивидуальные дозы можно сравнить с данными реконструкции дозы, которые были показаны в предыдущей публикации [4, 5], а для Долони это было около 0,5 Гр.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Индивидуальные поглощенные дозы определялись для жителей разных деревень и для жителей города Семипалатинска. Наиболее высокие дозы были измерены в Долони для жителей, чья эмаль была сформирована до 1949 года. Они согласуются с тем, что это село расположено ближе к оси радиоактивного следа.

Следует отметить, что количество исследованных образцов недостаточно для окончательных выводов об уровне воздействия на население по результатам ЭПР дозиметрии. Необходимо исследовать больше образцов зубной эмали, сформированных до 1949 года, для жителей, постоянно находящихся в пострадавших районах в период испытаний.

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).

ЛИТЕРАТУРА

1. Deriglasow, V. I., Gorin, V. V., Maltzev, A. L., Matuschenko, A. M., Safonov, F. F. and Smagulov, S. G., 1991. Radiological situation at Semipalatinsk test site bordering regions of the Kazakh SSR. Bulletin of the Public information center by atomic Energy (CNII atominform) N4: 46-52. Moscow. Russia. (in Russian).
2. Dubasov, U.V., Matuschenko, A.M., Filonov, N.P., et al., 1993. Semipalatinsk Test Site: estimation of radiological consequences Bulletin of the Public information center by atomic Energy (CNII Atominform). Special issue. Moscow. Russia. (in Russian).
3. IAEA Report, 2002. Use of electron paramagnetic resonance dosimetry with tooth enamel for retrospective dose assessment. Report of a coordinated research project. IAEA-TECDOC-1331. Vienna.
4. Imanaka, T., Fukutani, S., Yamamoto, M., Sakaguchi, A., Hoshi, M., 2005. Width and Center-axis Location of the Radioactive Plume That Passed over Dolon and Nearby Villages on the Occasion of the First USSR A-bomb Test in 1949. J. Radiat. Res. 46 (4), 395-399.
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., 2006. 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. 47, A149-A158.
6. Ivannikov, A.I., Skvortsov, V.G., Stepanenko, V.F., Tikunov, D.D., Fedosov, I.M., Romanyukha, A.A., Wieser, A., 1997. Wide-scale EPR retrospective dosimetry: Results and problems. Radiat. Prot. Dosim. 71, 175-180.
7. Zhumadilov, K.S., Ivannikov, A.I., Skvortsov, V.G., Zhumadilov, Zh.S., Endo, S., Tanaka, K., and Hoshi, M., 2005. Tooth enamel EPR dosimetry: selecting optimal spectra registration parameters and effects of sample mass on sensitivity. J. Radiat. Res. 46 (4), 435-442.
8. Ivannikov, A.I., Trompier, F., Gaillard-Lecanu, E., Skvortsov, V.G. and Stepanenko, V.F., 2002. Optimization of recording conditions for the electron paramagnetic resonance signal used in dental enamel dosimetry. Radiat. Prot. Dosim. 100, 531-538.
9. Ivannikov, A.I., Skvortsov, V.G., Stepanenko, V.F., Tikunov, D.D., Takada, J., Hoshi, M., 2001. EPR Tooth Enamel Dosimetry: Optimization of the Automatic Spectra Deconvolution Procedure. Health Phys. 81 (2), 124-137.
10. Ivannikov, A., Zhumadilov, K., Tieliewuhan, E., Jiao, L., Zharlyganova, D., Apsalikov, K.N., Berekenova, G., Zhumadilov, Zh., Toyoda, Sh., Miyazawa, C., Skvortsov, V., Stepanenko, V., Endo, S., Tanaka, K. and Hoshi, M., 2006. 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. 47, A39-A46.
11. Ivannikov, A.I., Zhumadilov, Zh., Gusev, B.I., Miyazawa, Ch., Jiao, L., Skvortsov, V.G., Stepanenko, V.F., Takada, J. and Hoshi, M., 2002. Individual dose reconstruction among residents living in the vicinity of the Semipalatinsk Nuclear Test Site using EPR spectroscopy of tooth enamel. Health Phys. 83 (2), 183-196.

12. Zhumadilov, K., Ivannikov, A., Apsalikov, K.N., Zhumadilov, Zh., Toyoda, Sh., Zharlyganova, D., Tieliewuhan, E., Endo, S., Tanaka, K., Miyazawa, C., Okamoto, T. and Hoshi, M., 2006. Radiation Dose Estimation by Tooth Enamel EPR Dosimetry for Residents of Dolon and Bodene. J. Radiat. Res. 47, A47-A53.

СЕМЕЙ ЯДРОЛЫҚ ПОЛИГОНЫ МАҢЫНДА ТҰРАТЫН ТҰРҒЫНДАР ТІСІ ЭМАЛІНІҢ ЭПР ДОЗИМЕТРИЯСЫ ҚОРЫТЫНДЫЛАРЫ

¹⁾ К.Ш. Жумадилов, ²⁾ А.И. Иванников, ¹⁾ С.М. Сарсенова, ²⁾ В.Ф. Степаненко, ³⁾ М. Хоши

¹⁾ *Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан*

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

³⁾ *Хиросима университеті, Хиросима, Жапония*

Мақалада Дөлен, Мостик, Бөдене елді мекендері тұрғындарының Семей ядролық сынақ полигонында жүргізілген сынақтар салдарынан жұтылған дозасын тіс эмалі бойынша ЭПР дозиметрия әдісімен бағалаудың қорытындылары келтірілген.

THE RESULTS OF EPR DOSIMETRY ON TOOTH ENAMEL OF THE POPULATION LIVING NEAR THE SEMIPALATINSK NUCLEAR TEST SITE

¹⁾ K.Sh. Zhumadilov, ²⁾ A.I. Ivannikov, ¹⁾ S.M. Sarsenova, ²⁾ V.F. Stepanenko, ³⁾ M. Hoshi

¹⁾ *L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan*

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

³⁾ *University of Hiroshima, Hiroshima, Japan*

The results of an estimation of the absorbed dose after tests on the Semipalatinsk nuclear test site of the population living in the following settlements are shown in the article: Dolon, Mostik, Bodene by the method of EPR dosimetry on tooth enamel.