

**Жумадилов К.Ш.<sup>1\*</sup>, Иванников А.И.<sup>2</sup>, Степаненко В.Ф.<sup>2</sup>,  
Скворцов В.Г.<sup>2</sup>, Тойода Ш.<sup>3</sup>, Хоши М.<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Международная кафедра ядерной физики, новых материалов и технологий,  
Евразийский Национальный университет им. Гумилева Л.Н, Казахстан, Астана

<sup>2</sup>МРНЦ им. А.Ф. Цыба – филиал ФГБУ «НМИРЦ» Минздрава России, Обнинск

<sup>3</sup>Университет Науки Окаямы, Япония, Окаяма

<sup>4</sup>Университет Хиросимы, Япония, Хиросима

\*e-mail: zhumadilovk@gmail.com

## **ИССЛЕДОВАНИЕ НАСЕЛЕНИЯ ГОРОДА СТЕПНОГОРСКА, РАСПОЛОЖЕННОГО В НЕПОСРЕДСТВЕННОЙ БЛИЗОСТИ ОТ УРАНОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕГО ЗАВОДА**

В статье приведены результаты оценки возможного превышения поглощенной дозы, полученной работниками ураноперерабатывающего завода. Оценивалась возможная избыточная доза работников в сравнении с дозой населения (г. Степногорск) и дозой контрольного населения (г. Астана). Все образцы зубной эмали были извлечены в соответствии с медицинскими рекомендациями. Всего было отобрано 27 образцов эмали зубов у жителей города Степногорска (180 км от г. Астана, Казахстан). 6 образцов зубной эмали были отобраны у работников ураноперерабатывающего завода. Результаты оценки дозы по 6 образцам зубной эмали показывают небольшое влияние условий труда на рабочих, максимальная избыточная доза составляет менее 100 мГр. Аварийные (избыточные) дозы рабочих завода оказались ниже доз населения города Степногорска и доз жителей города Астана. Это пилотное исследование оценки дозы ЭПР зубной эмали, и для окончательного вывода требуется дополнительная выборка.

**Ключевые слова:** ЭПР-дозиметрия, зубная эмаль, доза радиации, Степногорск.

Zhumadilov K.Sh.<sup>1\*</sup>, Ivannikov A.I.<sup>2</sup>, Stepanenko V.F.<sup>2</sup>,  
Skvortsov V.G.<sup>2</sup>, Toyoda S.<sup>3</sup>, Hoshi M.<sup>4</sup>

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

<sup>2</sup>A.F. Tsyb Medical Radiological Research Center, Obninsk, Russia

<sup>3</sup>Department of Applied Physics Faculty of Science Okayama University of Science, Japan

<sup>4</sup>Hiroshima University, Japan

\*e-mail: zhumadilovk@gmail.com

### **Investigation of Stepnogorsk city population residing near uranium processing plant**

In the article the results of an estimation of possible excess of the absorbed dose received by workers of uranium-processing plant are included. The possible excess of dose of workers was evaluated with comparison with population set (Stepnogorsk) and control set (Astana city). All measured tooth enamel samples were extracted according to medical recommendations. Totally 27 tooth enamel samples were analyzed from the residents of Stepnogorsk city (180 km from Astana city, Kazakhstan). 6 tooth samples were collected from the workers of uranium processing plant. The results of 6 tooth enamel dose estimation show us a slight influence of working conditions to workers, the maximum excess dose is less than 100 mGy. The emergency (excess) doses of processing plant workers turned out to be lower than the doses of the population of Stepnogorsk city and the doses of residents of Astana city. This is pilot study of tooth enamel EPR dose estimation and for a final conclusion additional sample is required.

**Key words:** EPR dosimetry, tooth enamel, the radiation dose, Stepnogorsk.

Жумадилов К.Ш.<sup>1\*</sup>, Иванников А.И.<sup>2</sup>, Степаненко В.Ф.<sup>2</sup>,  
Скворцов В.Г.<sup>2</sup>, Тойода Ш.<sup>3</sup>, Хоши М.<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Ядролық физика, жаңа материалдар және технологиялар халықаралық кафедрасы,  
Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қазақстан, Астана

<sup>2</sup>Ресей Федерациясының Денсаулық сақтау Министрлігінің «ФМЗО» Федералдық Мемлекеттік  
бюджеттік мекемесінің филиалы А.Ф. Цыб атындағы МРФО, Обнинск

<sup>3</sup>Окаяма Ғылым Университеті, Жапон, Окаяма

<sup>4</sup>Хиросима Университеті, Жапон, Хиросима

\*e-mail: zhumadilovk@gmail.com

### Уран өңдеу зауытына жақын орналасқан Степногорск қаласының халқын зерттеу

Мақалада уран өндіруші зауыт жұмыскерлерімен алынған сіңірілген мөлшерден мүмкін асырылуын бағалау нәтижелері келтірілген. Жұмыскерлердің мүмкін артық мөлшері тұрғындар мөлшерімен (Степногорск қ.) және бақылау тұрғындары мөлшерімен (Астана қ.) салыстырылып бағаланды. Тіс эмалының барлық үлгілері медициналық талаптарға сәйкес алынды. Степногорск қаласы (Астана қаласынан 180 км, Қазақстан) тұрғындарынан тіс эмалының барлығы 27 үлгісі жинап алынды. 6 тіс эмалы үлгілері бойынша мөлшерді бағалау нәтижелері жұмыскерлерге еңбек жағдайының азғана әсерін көрсетеді. Максимальды артық мөлшер 100мГр-нан аз мөлшерді құрайды. Зауыт жұмыскерлерінің төтенше (артық) мөлшері Степногорск қаласы тұрғындары мөлшері мен Астана қаласы тұрғындары мөлшерінен төмен болып шықты. Бұл тіс эмалының электронды парамагнитты резонанс (ЭПР) мөлшерін бағалау сынама зерттеуі, және соңғы қорытындыға қосымша іріктеу қажет.

**Түйін сөздер:** ЭПР-дозиметриясы, тіс эмалы, радиация дозасы, Степногорск.

### Введение

Урановые ресурсы Республики Казахстан составляют около 1,6 миллиона тонн, содержащих около 19% разведанных запасов в мире. Разведанные месторождения на территории Казахстана отличаются с точки зрения практической ценности. Они сгруппированы в шесть урановых провинций. Одним из них является город Степногорск, находящийся в Акмолинской области. Он был основан в 1959 году и расположен в 180 км к северо-востоку от города Астаны (столица Казахстана). Степногорск был основан в качестве секретного города с кодовыми названиями Целиноград-25, Макинск-2. Основным направлением специализации города является обогащение урановой руды. В городе есть также и более мирные предприятия, такие как подшипниковый завод и другие [1].

ЭПР (электронно-парамагнитный резонанс) спектроскопия является одним из инструментов для ретроспективной реконструкции дозы [2-7]. Этот метод может оценить индивидуальные поглощенные дозы более чем через 50 лет после радиационного воздействия. ЭПР дозиметрия измеряет количество радикалов, образованных в зубной эмали после облучения ионизирующим излучением. Порог обнаружения поглощенной дозы этого метода является относительно низким, т.е. приблизительно 50 мГр [8, 9].

### Материалы и методы

**Отбор образцов** осуществлялся учеными Казахстана, Японии и России у населения города Степногорска, включая работников Гидрометаллургического завода (ГМЗ), который занимается переработкой урана. С этой целью было собрано 27 образцов зубов, 6 из них были удалены у работников ГМЗ. Далее отобранные образцы были поделены на щечную и языковую части. Щечная часть не была включена в процедуру оценки дозы, поскольку их положение в полости рта не исключает возможности воздействия солнечного света, который может повлиять на сигнал ЭПР [2, 10-12]. 5 образцов зубов, были собраны в качестве контроля у населения города Астаны, который не подвергался какому-либо радиоактивному воздействию, вследствие его удаленности. Согласно информации, полученной с помощью опросников доноров, образцы зубов не были подвергнуты процедуре рентгеновского облучения челюсти.

**Обработка ЭПР спектров.** Все измерения проводились при комнатной температуре 21°C с помощью ЭПР-спектрометра X-диапазона JEOL JES-FA100, оборудованным цилиндрическим резонатором TE011 высокой добротности, модели ES-UCX2. Для записи спектра использовались те же параметры, что и в работах, опубликованных ранее [13-15].

Возраст формирования зубной эмали получали путем вычитания среднего возраста формирования зубов для данной позиции зуба от возраста человека на момент измерения. Возраст формирования зубной эмали определяли по данным предыдущих публикаций [2, 3].

Программное обеспечение GraphPad Software (InStat 3,10, штат Калифорния, США) использовали для проведения статистического анализа).

Избыточная доза вызванная ионизирующим излучением (вероятно, из-за условий работы) была определено путем вычитания вклада от естественного фонового излучения (уравнение 1)

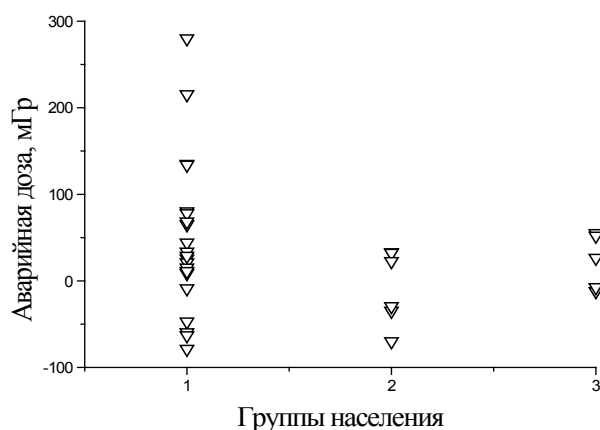
$$D_{ex} = D_{en} - TA * D_b, \quad (1)$$

где  $D_{en}$  является поглощенная доза была рассчитана с помощью программного обеспечения оценки (мГр),  $TA$  – это возраст зубной эмали (лет), и  $D_b$  – значение фоновой дозы, т.е. 0.8 мГр/год [16, 17]. Соответствующая погрешность определения дозы была определена на основе полуэмпирической формулы, используемой в [18].

### Результаты и обсуждение

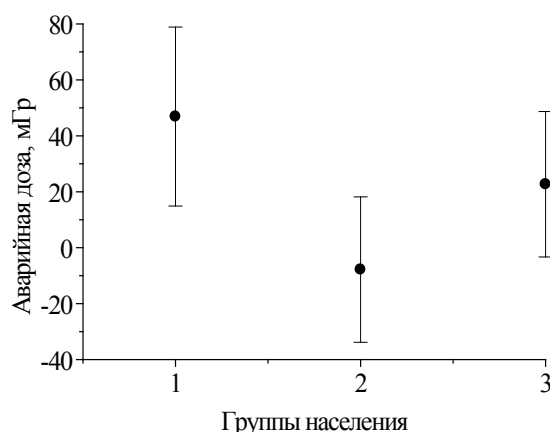
Поглощенные дозы с их погрешностями, были получены в результате обработки спектров. Для того, чтобы свести к минимуму влияние любого неизвестного рентгенодиагностического вклада в дозу, только результаты, полученные для языковой части были использованы для дальнейшего анализа.

Для жителей Степногорска (рис.1) аварийные дозы варьировались от  $-79 \pm 26$  до  $279 \pm 43$  мГр для жителей, а для работников ГМЗ от  $-70 \pm 25$  до  $33 \pm 26$  мГр. Средняя аварийная доза для контрольных образцов зубов оценивается как  $22 \pm 26$  мГр (рис.2). Разница между дозами контрольной группы (г. Астана) и доз в исследованных популяциях была протестирована на статистическую значимость с помощью статистического *t*-теста (программное обеспечение GraphPad). Для получения разности между средней ЭПР дозой для рабочих и населения *P*-значение равно 0.22, и эта разница не является статистически значимой. Для образцов жителей города Степногорска и Астаны значение *P* равно 0.5592 и также не является статистически значимым. Для жителей города Степногорск и города Астаны значение *P* является 0.9155 и эта разница не является статистически значимой.



**Рисунок 1** – Аварийные дозы, определенные для различных групп населения:  
1 – Жители Степногорска; 2 – работники ГМЗ;  
3 – Жители Астаны.

Учитывая небольшое количество исследованных образцов зубов, выведенные дозы не следует рассматривать в качестве представительских для рабочих ГМЗ. Максимальная доза, полученная для образцов жителей города Степногорска получены не из-за влияния перерабатывающего завода, но может быть получена от какого-то другого источника радиации. Другим объяснением высокой дозы для жителей Степногорска может быть миграция из различных населенных пунктов Казахстана, расположенных в непосредственной близости от Семипалатинского ядерного полигона.



**Рисунок 2** – Средние аварийные дозы, определенные для различных групп населения:  
1 – Жители Степногорска; 2 – работники ГМЗ;  
3 – Жители Астаны.

**Выводы**

Результаты оценки дозы эмали зубов показывают небольшое влияние излучения от урано-перерабатывающего завода на работников. Эта небольшая разница была подтверждена статистическими расчетами. Это экспериментальное исследование оценки дозы ЭПР. В последующем исследовании больше внимания необходи-

мо будет уделять сбору контрольных образцов зубной эмали.

**Благодарности**

Авторы статьи выражают искреннюю благодарность за финансовую поддержку из средств гранта Министерства образования и науки Республики Казахстан (5284/GF4 соглашение № 47).

**Литература**

- 1 Zhumadilov K., Ivannikov A., Stepanenko V., Abralina Sh., Sadvokasova L., Akilbekov A., Morzabayev A., Rakhypbekov T., Hoshi M. EPR pilot study on the population of Stepnogorsk city living in the vicinity of a uranium processing plant / *Radiat. Environ. Biophys.* – 2015. – 54. – P. 145-149.
- 2 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.
- 3 Tanaka K., Endo S., Ivannikov A., Toyoda S., Tieliewuhan E., Zhumadilov K., Miyazawa C., Suga S., Kitagawa K., Hoshi M. Study on influence of X-ray baggage scan on ESR dosimetry for SNTS using human tooth enamel / *J. Radiat. Res.* – 2006. – 46. – P. 435-442.
- 4 Wieser A., Vasilenko E., Fattibene P., Bayankin S., El-Faramawy N., Ivanov D., Jacob P., Knyazev V., Onori S., Pressello M.C., Romanyukha A., Smetanin M., Ulanovsky A. Comparison of EPR occupational lifetime external dose assessments for Mayak nuclear workers and film badge dose data / *Radiat. Environ. Biophys.* – 2006. – 44. – P. 279-288.
- 5 Hoshi M., Toyoda S., Ivannikov A., Zhumadilov K., Fukumura A., Apsalikov K., Zhumadilov Z.S., Bayankin S., Chumak V., Ciesielski B., De Coste V., Endo S., Fattibene P., Ivanov D., Mitchell C.A., Onori S., Penkowski M., Pivovarov S.P., Romanyukha A., Rukhin A.B., Schultka K., Seredavina T.A., Sholom S., Skvortsov V., Stepanenko V., Tanaka K., Trompier F., Wieser A. and Wolakiewicz G. Interlaboratory comparison of tooth enamel dosimetry on Semipalatinsk region: Part 1, General View / *Radiat. Meas.* – 2007. – 42. – P. 1005-1014.
- 6 Ivannikov A., Toyoda S., Hoshi M., Zhumadilov K., Fukumura A., Apsalikov K., Zhumadilov Z.S., Bayankin S., Chumak V., Ciesielski B., De Coste V., Endo S., Fattibene P., Ivanov D., Mitchell C.A., Nalapko M., Onori S., Penkowski M., Pivovarov S.P., Romanyukha A., Rukhin A.B., Sanin D., Schultka K., Seredavina T., Sholom S., Skvortsov V., Stepanenko V., Tanaka K., Trompier F., Wieser A. and Wolakiewicz G. Interlaboratory comparison of tooth enamel dosimetry on Semipalatinsk region: Part 2, Effects of spectrum processing / *Radiat. Meas.* – 2007. – 42. – P. 1015-1020.
- 7 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.
- 8 Fattibene P., Wieser A., Adolfsson E., Benevides L.A., Brai M., Callens F., Chumak V., Ciesielski B., Della Monaca S., Emerich K., Gustafsson H., Hirai Y., Hoshi M., Israelsson A., Ivannikov A., Ivanov D., Kaminska J., Wu Ke, Lund E., Marrale M., Martens L., Miyazawa C., Nakamura N., Panzer W., Pivovarov S., Reyes R.A., Rodzi M., Romanyukha A.A., Rukhin A., Sholom S., Skvortsov V., Stepanenko V., Tarpan M.A., Thierens H., Toyoda S., Trompier F., Verdi E., Zhumadilov K. The 4th International Comparison on EPR Dosimetry with Tooth Enamel. Part 1: Report on the results / *Radiat. Meas.* – 2011. – 46. – P. 765-771.
- 9 Tieliewuhan 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.
- 10 Sholom S., Desrosiers M., Chumak V., Luckyanov N., Simon S.L., and Bouville A. UV effect in tooth enamel and their possible application in EPR dosimetry with front teeth / *Health Phys.* – 2010. – 98. – P. 360-368.
- 11 Zhumadilov K.S., Ivannikov A.I., Skvortsov V.G., Zhumadilov Zh.S., Endo S., Tanaka K. and Hoshi M. Tooth enamel EPR dosimetry: selecting optimal spectra registration parameters and effects of sample mass on sensitivity / *J. Radiat. Res.* – 2005. – 46. – P. 435-442.
- 12 Ivannikov A.I., Sanin D., Nalapko 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.
- 13 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.
- 14 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.
- 15 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.

16 Zhumadilov K., Ivannikov A., Apsalnikov 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.

17 Zhumadilov K., Ivannikov A., Apsalnikov 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.

18 Zhumadilov K., Ivannikov A., Zhumadilov Z., Stepanenko V., Apsalnikov 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.

### References

1 K. Zhumadilov, A. Ivannikov, V. Stepanenko, Sh. Abralina, L. Sadvokasova, A. Akilbekov, A. Morzabayev, T. Rakhypbekov, and M. Hoshi, *Radiat. Environ. Biophys.* 54, 145-149, (2015).

2 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).

3 K. Tanaka, S. Endo, A. Ivannikov, S. Toyoda, E. Tieliewuhan, K. Zhumadilov, C. Miyazawa, S. Suga, K. Kitagawa, and M. Hoshi, *J. Radiat. Res.* 46, 435-442, (2006).

4 A. Wieser, E. Vasilenko, P. Fattibene, S. Bayankin, N. El-Faramawy, D. Ivanov, P. Jacob, V. Knyazev, S. Onori, M.C. Presello, A. Romanyukha, M. Smetanin, and A. Ulanovsky, *Radiat. Environ. Biophys.* 44, 279-288, (2006).

5 M. Hoshi, S. Toyoda, A. Ivannikov, K. Zhumadilov, A. Fukumura, K. Apsalnikov, et al, *Radiat. Meas.* 42, 1005-1014, (2007).

6 A. Ivannikov, S. Toyoda, M. Hoshi, K. Zhumadilov, A. Fukumura, K. Apsalnikov, Z.S. Zhumadilov, et al, *Radiat. Meas.* 42, 1015-1020, (2007).

7 K. Zhumadilov, V. Stepanenko, A. Ivannikov, Z. Zhumadilov, S. Toyoda, K. Tanaka, S. Endo, and M. Hoshi, *Radiat. Environ. Biophys.* 47, 541-545, (2008).

8 P. Fattibene, A. Wieser, E. Adolfsson, L.A. Benevides, M. Brai, F. Callens, V. Chumak, B. Ciesielski, et al, The 4th International Comparison on EPR Dosimetry with Tooth Enamel. (Part 1: Report on the results, *Radiat. Meas.* 46, 2011), p.765-771.

9 E. Tieliewuhan, A. Ivannikov, K. Zhumadilov, M. Nalapko, D. Tikunov, V. Skvortsov, V. Stepanenko, Sh. Toyoda, K. Tanaka, S. Endo, and M. Hoshi, *Radiat. Meas.* 41, 410-417, (2006).

10 S. Sholom, M. Desrosiers, V. Chumak, N. Luckyanov, S.L. Simon, and A. Bouville, *Health Phys.* 98, 360-368, (2010).

11 K.S. Zhumadilov, A.I. Ivannikov, V.G. Skvortsov, Zh.S. Zhumadilov, S. Endo, K. Tanaka and M. Hoshi, *J. Radiat. Res.* 46, 435-442, (2005).

12 A.I. Ivannikov, D. Sanin, M. Nalapko, V.G. Skvortsov, V.F. Stepanenko, A.F. Tsyb, F. Trompier, K. Zhumadilov, and M. Hoshi, *Health Phys.* 98, 345-351, (2010).

13 K. Zhumadilov, A. Ivannikov, V. Stepanenko, S. Toyoda, Z. Zhumadilov, and M. Hoshi, *J. Radiat. Res.* 54, 775-779, (2013).

14 A.I. Ivannikov, V.G. Skvortsov, V.F. Stepanenko, K.Sh. Zhumadilov, *Radiat. Prot. Dosim.* 159, 125-129, (2014).

15 A. Ivannikov, K. Zhumadilov, E. Tieliewuhan, L. Jiao, K.N. Apsalnikov, G. Berekenova, Zh. Zhumadilov, Sh. Toyoda, C. Miyazawa, V. Skvortsov, V. Stepanenko, S. Endo, K. Tanaka and M. Hoshi, *J. Radiat. Res.* 47, A39-A46, (2006).

16 K. Zhumadilov, A. Ivannikov, K. Apsalnikov, Zh. Zhumadilov, V. Stepanenko, V. Skvortsov, G. Berekenova, S. Toyoda, S. Endo, K. Tanaka, C. Miyazawa, and M. Hoshi, *Radiat. Meas.* 42, 1049-1052, (2007).

17 K. Zhumadilov, A. Ivannikov, K.N. Apsalnikov, Zh. Zhumadilov, Sh. Toyoda, E. Tieliewuhan, S. Endo, K. Tanaka, C. Miyazawa, T. Okamoto, and M. Hoshi, *J. Radiat. Res.* 47, A47-A53, (2006).

18 K. Zhumadilov, A. Ivannikov, Z. Zhumadilov, V. Stepanenko, K. Apsalnikov, M. Rodzi, A. Zhumadilova, S. Toyoda, S. Endo, K. Tanaka, T. Okamoto, and M. Hoshi, *Radiat. Environ. Biophys.* 48, 419-425, (2009).