DOI: 10.21870/0131-3878-2017-26-3-55-65

Использование метода ЭПР-дозиметрии для оценки доз облучения жителей Степногорска (Республика Казахстан), проживающих вблизи ураноперерабатывающего завода: предварительные результаты

Жумадилов К.Ш.¹, Иванников А.И.², Степаненко В.Ф.², Скворцов В.Г.², Тойода Ш.³, Каприн А.Д.⁴, Иванов С.А.², Ахмедова У.А.², Хоши М.⁵

¹ Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан;

² МРНЦ им. А.Ф. Цыба – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России, Обнинск;

³ Университет науки Окаямы, Окаяма, Япония;

⁴ ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России, Обнинск;

⁵ Университет Хиросимы, Хиросима, Япония

Представлены предварительные инструментальные оценки доз облучения жителей Степногорска (Республика Казахстан), в том числе и работников ураноперерабатывающего завода, находящегося рядом с этим городом. Их дозы облучения оценивали в сравнении с дозами облучения населения города Астана, выбранного в качестве контрольной территории. Использовали метод ЭПР-дозиметрии по образцам эмали зубов человека. Образцы зубов были получены при удалении их по медицинским показаниям. В данной работе представлены первые результаты исследования. В общей сложности было проанализировано 27 образцов зубной эмали жителей Степногорска (включая работников ураноперерабатывающего завода). Установлено, что различие между дозами облучения образцов зубов, собранных у работников ураноперерабатывающего завода и у жителей Степногорска (не являющихся работниками этого предприятия), и дозами облучения жителей Астаны (в качестве контроля – 5 человек) не является статистически значимым. У четырех жителей Степногорска, не являющихся работниками предприятия, были определены относительно высокие дозы облучения. Поскольку в результате индивидуальных опросов было установлено, что эти лица не подвергались облучению с медицинскими целями, то возможным объяснением относительно больших индивидуальных доз может быть миграция этих лиц из различных населенных пунктов Казахстана, расположенных в самой непосредственной близости от Семипалатинского ядерного полигона, где они могли подвергнуться дополнительному облучению. Исследование является пилотным и будет продолжено по мере получения новых образцов эмали зубов.

Ключевые слова: ретроспективная дозиметрия, ЭПР-дозиметрия, эмаль зубов человека, анализ ЭПР-спектров, чувствительность метода ЭПР-дозиметрии, облучение персонала, облучение населения, индивидуальная дозиметрия, переработка урана, ураноперерабатывающий завод, обогащение урановой руды, Степногорск, Республика Казахстан.

Введение

Ресурсы Республики Казахстан содержат около 19% разведанных запасов урана в мире, что составляет около 1,6 млн тонн. Десятки разведанных урановых месторождений отличаются с точки зрения практической ценности и сгруппированы в шесть урановых провинций. Город Степногорск является одним из них и находится в Акмолинской области. Он был основан в 1959 г., расположен в 180 км к северо-востоку от Астаны – столицы Казахстана. Первоначально Степногорск был обозначен как «закрытый город» с названиями Целиноград-25, Макинск-2. Основным направлением специализации города является обогащение урановой руды. В городе есть также и иные промышленные предприятия, такие как подшипниковый завод [1].

Жумадилов К.Ш. – зав. кафедрой, к.т.н., проф. ЕНУ им. Л.Н. Гумилева. Иванников А.И. – в.н.с., к.ф.-м.н.; Степаненко В.Ф.* – зав. лаб., д.б.н., проф.; Скворцов В.Г. – зав. лаб., к.б.н.; Иванов С.А. – зам. ген. директора, д.м.н.; Ахмедова У.А. – инж. МРНЦ им. А.Ф. Цыба – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России. Тойода Ш. – проф. Университет науки Окаямы. Каприн А.Д. – ген. директор, акад. РАН, д.м.н., проф. ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России. Хоши М. – проф. Университет Хиросимы.

*Контакты: 249036, Калужская обл., Обнинск, ул. Копылова, 4. Тел.: (484) 399-70-02; e-mail: mrrc@mrrc.obninsk.ru.

Ретроспективная дозиметрия с использованием явления электронно-парамагнитного резонанса (ЭПР) является одним из методов оценки доз облучения человека после неконтролируемых радиационных воздействий [2-7]. Этот метод позволяет оценить накопленные индивидуальные поглощённые дозы по образцам эмали зубов человека и через (как минимум) 50 лет после радиационного воздействия. Методом ЭПР-дозиметрии измеряется концентрация радиационно-индуцированных радикалов, образованных в зубной эмали после облучения ионизирующим излучением. Порог детектирования поглощённой дозы этим методом является относительно низким – около 20-30 мГр накопленной дозы облучения [8, 9]. Данное исследование является пилотным и будет продолжено по мере получения дополнительных образцов эмали зубов.

Материалы и методы

Отбор образцов осуществлялся специалистами Казахстана, Японии и России с целью определения индивидуальной поглощённой дозы населения Степногорска, включая работников Гидрометаллургического завода (ГМЗ), который занимается переработкой урана. Отобранные образцы были поделены на щёчные и языковые части. Щёчные части не были включены в процедуру оценки дозы, поскольку их положение в полости рта не исключает возможности воздействия солнечного света, который может повлиять на радиационно-индуцированный ЭПР-сигнал [2, 10]. Всего в анализ было включено 27 образцов зубов, которые были удалены у взрослых жителей Степногорска (включая работников ГМЗ) по медицинским показаниям. В качестве контроля были использованы образцы зубов, собранных по медицинским показаниям у жителей города Астаны, который не подвергался какому-либо радиоактивному воздействию – вследствие его удалённости от ГМЗ. Согласно информации, полученной с помощью документально оформленных опросов доноров, образцы зубов не были подвергнуты процедуре рентгеновского облучения в области челюсти.

Подготовка образцов к измерениям. Эмаль зубов была механически отделена от дентина с помощью бормашины. Дентин был удалён бором при низких оборотах вращения машины, с тем, чтобы предотвратить нагревание образца, что может вызвать появление механически индуцированного сигнала и существенно изменить форму радиационно-индуцированного сигнала [2, 11]. Далее зубная эмаль была раздроблена на частицы размером 0,5-1,5 мм.

Калибровочная процедура и анализ ЭПР-спектров. Образцы эмали для построения калибровочной зависимости готовили из моляров, собранных у населения села Кокпекты, которое находится на расстоянии 800 км на юго-восток от города Астаны и около 300 км от города Семипалатинска и не подвергалось техногенному радиационному воздействию. Гранулы зубной эмали, полученные из различных образцов зубов, смешивали и делили на аликвоты по 100 мг. Полученные восемь аликвот облучили дозами 0, 100, 200, 300, 500 и 1000 мГр соответственно источником ^{60}Co в Университете Хиросимы [12, 13]. Контроль дозы при облучении проводили с использованием тканезквивалентного дозиметра. Точность измерения равна 3% (1 SD).

Все измерения проводили при комнатной температуре 21 °C с помощью ЭПР-спектрометра X-диапазона JEOL JES-FA100, снабжённого цилиндрическим резонатором TE011 высокой добротности, модели ES-UCX2. При записи спектра использовали те же параметры, что и в работах, опубликованных ранее [14, 15].

Специально разработанная компьютерная программа [16] была использована для анализа радиационно-индуцированного сигнала (РИС) и определения его интенсивности. ЭПР-спектр

облучённой эмали был разделён на РИС и фоновый сигнал (ФС), с применением нелинейной модели, описывающей РИС и ФС в аналитической форме. Использовали окно фитинга шириной 3,0 мТл, для всех спектров образцов эмали (левая граница окна фитинга была -1,0 мТл, а правая граница +2,0 мТл относительно максимума ФС) [15, 16].

Экспериментально определённая методом ЭПР доза включает в себя сумму дозы от естественного радиационного фона, накопленного в течение возраста формирования зубной эмали, и техногенной дозы. Возраст зубной эмали определяли путём вычитания среднего возраста формирования зубов (в зависимости от позиции зуба в челюсти человека) из возраста донора на момент отбора образца эмали [2, 3] – (см. табл. 1).

Техногенную дозу ($D_{\text{экс}}$) определяли путём вычитания вклада от естественного фонового излучения (см. соотношение 1):

$$D_{\text{экс}} = D_{\text{эм}} - TA \times D_{\text{ф}}, \quad (1)$$

где $D_{\text{эм}}$ – суммарная доза, определённая ЭПР-методом в зубной эмали, (мГр); TA – возраст зубной эмали (год); $D_{\text{ф}}$ – средняя мощность дозы фонового облучения от внешнего естественного облучения (0,8 мГр/год [17]). Погрешности определения измеренных индивидуальных доз были оценены в соответствии с ранее опубликованной полуэмпирической формулой [15, 16, 18, 19].

Результаты и обсуждение

Оценённые методом ЭПР значения техногенных индивидуальных поглощённых доз в зубной эмали представлены на рис. 1. Характеристики собранных образцов зубной эмали для оценок индивидуальных накопленных поглощённых доз методом ЭПР-дозиметрии у обследованных жителей Степногорска, персонала ураноперерабатывающего завода и жителей Астаны приведены в табл. 1. Город Астана была выбрана в качестве контрольной территории.

Рис. 1. Индивидуальные накопленные техногенные поглощённые дозы, измеренные методом ЭПР-дозиметрии в образцах эмали зубов, в обследованных группах населения Степногорска, отдельно работников ураноперерабатывающего завода и жителей Астаны. По оси ординат – поглощённые дозы, мГр; погрешности (1SD) определения индивидуальных доз оценены в соответствии с [15, 16, 18, 19]. По оси абсцисс – номера образцов эмали зубов в соответствии с табл. 1.

Таблица 1

Характеристики собранных образцов зубной эмали для оценок индивидуальных накопленных поглощённых доз методом ЭПР-дозиметрии у обследованных жителей Степногорска, персонала ураноперерабатывающего завода и жителей Астаны

№ п/п	Код образца	Год рождения донора зуба	Возраст формирования эмали	Позиция зуба в челюсти
Жители Степногорска, не работающие на ураноперерабатывающем заводе				
1	4st	1961	12	8
2	5st	1987	12	8
3	6st	1947	3	6
4	7st	1977	5	4
5	8st	1972	3	6
6	9st	1955	3	6
7	11st	1964	7	7
8	12st	1976	12	8
9	13st	1959	3	6
10	14st	1946	3	6
11	19st	1976	12	8
12	21st	1955	3	6
13	22st	1955	7	7
14	23st	1955	3	6
15	24st	1950	3	6
16	26st	1953	7	7
17	27st	1966	12	8
18	28st	1941	5	4
19	31st	1931	4	2
20	32st	1959	6	5
21	33st	1959	4	2
Жители Степногорска – работники ураноперерабатывающего завода				
22	1st-1	1968	12	7
23	1st-2	1968	7	8
24	3st	1955	3	6
25	15st	1968	3	6
26	16st	1954	6	5
27	17st	1954	3	6
Жители Астаны				
28	1As	1974	12	8
29	2As	1964	7	7
30	3As	1964	12	8
31	4As	1984	12	8
32	6As	1946	7	7

Следует отметить, что при расчёте величин накопленной фоновой дозы (см. соотношение 1 выше) использовали значение средней мощности дозы фонового облучения от внешнего естественного облучения (0,8 мГр/год [17]), а также значения среднего возраста формирования зубной эмали в зависимости от позиции зуба в челюсти человека [2, 3]. Очевидно, что конкретные значения мощности внешнего фонового излучения для конкретной местности, а также индивидуальный возраст зубной эмали могут отличаться от использованных при этом средних величин. В то же время измеренная величина суммарной дозы $D_{эм}$ (соотношение 1), определённая методом ЭПР в зубной эмали, является индивидуальной. Поэтому некоторые из рассчитанных в соответствии с соотношением (1) величин индивидуальной техногенной дозы $D_{экс}$ могут иметь отрицательные значения – в тех случаях, когда результаты измерений были близки к порогу чувствительности метода ЭПР-дозиметрии (20-30 мГр). Несмотря на то, что отрица-

тельные значения дозы не имеют физического смысла, они не были исключены из статистического анализа – для того, чтобы получить несмещённые оценки доз, усреднённых по рассматриваемым выборкам образцов.

Для выборки образцов, относящихся к контрольной территории (Астана), средняя техногенная доза, определённая методом ЭПР, равна 22,7 мГр ($1SD=31,7$ мГр). Для жителей Степногорска, не являющихся работниками ураноперерабатывающего завода, средняя техногенная доза, определённая методом ЭПР, равна 46,9 мГр ($1SD=88,7$ мГр). Для обследованной группы работников ураноперерабатывающего завода средняя техногенная доза, определённая методом ЭПР, равна 7,8 мГр ($1SD=43$ мГр). Достоверность разницы между дозами в контрольной группе (Астана) и дозами облучения выборки рабочих ураноперерабатывающего завода, а также дозами в группе обследованных жителей Степногорска (не являющихся работниками уранового предприятия), была протестирована с помощью t-критерия Стьюдента (t-тест). Для разности между величиной средней ЭПР-дозы в выборке работников предприятия и величиной средней дозы в контрольной группе значение P равно 0,22, что показывает отсутствие статистически значимости в этом различии. Для разницы в средних дозах облучения группы обследованных жителей Степногорска и Астаны соответствующее значение P равно 0,56, что также указывает на отсутствие статистически значимого различия в дозах облучения указанных групп. Учитывая небольшое количество обследованных лиц в группе работников ураноперерабатывающего завода, полученные оценки доз для этой группы следует рассматривать как весьма предварительные и требующие дальнейших исследований после набора более многочисленной выборки (по медицинским показаниям). Как следует из рис. 1, у четырёх жителей Степногорска, не являющихся работниками предприятия, были установлены относительно высокие дозы (образцы 1, 2, 19, 20). Поскольку в результате индивидуальных опросов было выявлено, что эти лица не подвергались облучению с медицинскими целями, то возможным объяснением оценённых величин индивидуальных доз может быть миграция этих лиц из различных населённых пунктов Казахстана, расположенных в самой непосредственной близости от Семипалатинского ядерного полигона, где они могли подвергнуться дополнительному облучению.

Выводы

1. Разница в средних дозах облучения группы обследованных жителей Степногорска (без включения группы работников ураноперерабатывающего завода) и Астаны (контроль) не является статистически значимой.

2. Разница в средних дозах облучения группы обследованных жителей Степногорска (работники ураноперерабатывающего завода) и жителей Астаны (контроль) также не является статистически значимой.

3. Учитывая небольшое количество обследованных лиц в группе работников ураноперерабатывающего завода, полученные оценки доз для этой группы следует рассматривать как весьма предварительные и требующие дальнейших исследований после набора более многочисленной выборки (по медицинским показаниям).

4. У четырёх жителей Степногорска, не работников предприятия, были установлены относительно высокие дозы облучения. Поскольку в результате индивидуальных опросов было выявлено, что эти лица не подвергались облучению с медицинскими целями, то возможным объяснением оценённых величин индивидуальных доз может быть миграция этих лиц из различных населённых пунктов Казахстана, расположенных в самой непосредственной близости от Семипалатинского ядерного полигона, где они могли подвергнуться дополнительному облучению.

Исследования по данной работе были поддержаны грантом Министерства образования и науки Республики Казахстан (5284/GF4 соглашение № 47).

Исследования были поддержаны МРНЦ им. А.Ф. Цыба – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России, Обнинск, Россия, путём предоставления программных средств для обработки ЭПР-спектров и возможности применения соответствующих методик.

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. V. 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. V. 47. P. A81-A83.
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. V. 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., Wolakiewicz G.** Interlaboratory comparison of tooth enamel dosimetry on Semipalatinsk region: Part 1, General view //Radiat. Meas. 2007. V. 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., Wolakiewicz G.** Interlaboratory comparison of tooth enamel dosimetry on Semipalatinsk region: Part 2, Effects of spectrum processing //Radiat. Meas. 2007. V. 42. P. 1015-1020.
7. **Zhumadilov K., Stepanenko V., Ivannikov A., Zhumadilov Z., Toyoda S., Tanaka K., Endo S., 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. V. 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. V. 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. V. 41. P. 410-417.
10. **Sholom S., Desrosiers M., Chumak V., Luckyanov N., Simon S.L., Bouville A.** UV effect in tooth enamel and their possible application in EPR dosimetry with front teeth //Health Phys. 2010. V. 98. P. 360-368.
11. **Zhumadilov K.S., Ivannikov A.I., Skvortsov V.G., Zhumadilov Zh.S., Endo S., Tanaka K., Hoshi M.** Tooth enamel EPR dosimetry: selecting optimal spectra registration parameters and effects of sample mass on sensitivity //J. Radiat. Res. 2005. V. 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., Hoshi M.** Dental enamel EPR dosimetry: comparative testing of the spectra processing methods for determination of radiation induced-signal amplitude //Health Phys. 2010. V. 98. P. 345-351.
13. **Zhumadilov K., Ivannikov A., Stepanenko V., Toyoda S., Zhumadilov Z., Hoshi M.** ESR dosimetry study of population in the vicinity of the Semipalatinsk Nuclear Test Site //J. Radiat. Res. 2013. V. 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. V. 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., 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. V. 47. P. A39-A46.
16. **Zhumadilov K., Ivannikov A., Apsalikov K., Zhumadilov Zh., Stepanenko V., Skvortsov V., Berekenova G., Toyoda S., Endo S., Tanaka K., Miyazawa C., Hoshi M.** Results of tooth enamel EPR dosimetry for population living in the vicinity of the Semipalatinsk nuclear test site //Radiat. Meas. 2007. V. 42. P. 1049-1052.
17. **Zhumadilov K., Ivannikov A., Apsalikov K.N., Zhumadilov Zh., Toyoda Sh., Tieliewuhan E., Endo S., Tanaka K., Miyazawa C., Okamoto T., Hoshi M.** Radiation dose estimation by tooth enamel EPR dosimetry for residents of Dolon and Bodene //J. Radiat. Res. 2006. V. 47. P. A47-A53.
18. **Ivannikov A.I., Trompier F., Gaillard-Lecanu E., Skvortsov V.G., Stepanenko V.F.** Optimization of recording conditions for the electron paramagnetic resonance signal used in dental enamel dosimetry //Radiat. Prot. Dosim. 2002. V. 100. P. 531-538.
19. **Zhumadilov K., Ivannikov A., Zhumadilov Z., Stepanenko V., Apsalikov K., Rodzi M., Zhumadilova A., Toyoda S., Endo S., Tanaka K., Okamoto T., Hoshi M.** ESR dosimetry study on population of settlements nearby Ust-Kamenogorsk city, Kazakhstan //Radiat. Environ. Biophys. 2009. V. 48. P. 419-425.

Application of EPR dosimetry method for dose estimation among population of Stepnogorsk city, Republic of Kazakhstan, living close to the uranium-processing plant: preliminary results

Zhumadilov K.Sh.¹, Ivannikov A.I.², Stepanenko V.F.², Skvortsov V.G.², Toyoda S.³, Kaprin A.D.⁴, Ivanov S.A.², Akhmedova U.A.², Hoshi M.⁵

¹ L. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan;

² A. Tsyb MRRC, Obninsk;

³ Okayama University of Science, Okayama, Japan;

⁴ NMRC of Radiology, Obninsk;

⁵ Hiroshima University, Hiroshima, Japan

The preliminary assessment of doses to residents of Stepnogorsk, Republic of Kazakhstan, including workers of the uranium-processing plant, located near this city, is presented in the paper. Radiation doses in the residents of Stepnogorsk and workers of uranium-processing plant were evaluated in comparison with the exposure to the population of Astana city, chosen as the control territory. The method of EPR dosimetry with human tooth enamel was used for dose estimations. Teeth samples were removed according to medical indications. The paper presents the first results of the study. In total 27 samples of tooth enamel collected among residents of Stepnogorsk city (including workers of uranium-processing plant) were analyzed. It was found that the difference between radiation doses of the samples of teeth collected among workers of uranium-processing plant and the residents of Stepnogorsk city (not being employees of this plant), and radiation doses among residents of the Astana city (control territory) is not statistically significant. The relatively high doses were found in four residents of Stepnogorsk city, who did not work the uranium-processing plant. In a course of individual questioning it was found that these individuals were not exposed to radiation for medical purposes. A possible reason of the estimated high values of individual doses may be migration of these individuals from different localities of Kazakhstan, located in the immediate vicinity of the Semipalatinsk nuclear test site, where they could be exposed to additional irradiation. The presented results were obtained in a frame of pilot study. The investigation will be continued as additional samples of tooth enamel will be collected according to medical indications.

Keywords: retrospective dosimetry, EPR dosimetry, human tooth enamel, analysis of EPR spectrum, sensitivity of EPR dosimetry method, irradiation of personnel, irradiation of population, individual dosimetry, uranium processing plant, uranium enrichment, Stepnogorsk, Republic of Kazakhstan.

References

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, vol. 54, pp. 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, vol. 47, pp. A81-A83.
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, vol. 44, pp. 279-288.

Zhumadilov K.Sh. – Head of Dept., C. Sc., Tech., Prof. L. Gumilyov ENU of the RK. Ivannikov A.I. – Lead. Researcher, C. Sc., Phys.-Math.; Stepanenko V.F.* – Head of Lab., D. Sc., Biol., Prof.; Skvortsov V.G. – Head of Lab., C. Sc., Biol.; Ivanov S.A. – Deputy Director-General, MD; Akhmedova U.A. – Engineer. A. Tsyb MRRC. Toyoda Sh. – Prof. Okayama University of Sciences. Kaprin A.D. – Director General, Academician of RAS, MD, Prof. NMRC of Radiology. Hoshi M. – Prof. Hiroshima University.

*Contacts: 4 Korolyov str., Obninsk, Kaluga region, Russia, 249036. Tel.: (484) 399-70-02; e-mail: mrrc@mrrc.obninsk.ru.

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., Wolakiewicz G.** Interlaboratory comparison of tooth enamel dosimetry on Semipalatinsk region: Part 1, General view. *Radiat. Meas.*, 2007, vol. 42, pp. 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., Wolakiewicz G.** Interlaboratory comparison of tooth enamel dosimetry on Semipalatinsk region: Part 2, Effects of spectrum processing. *Radiat. Meas.*, 2007, vol. 42, pp. 1015-1020.
7. **Zhumadilov K., Stepanenko V., Ivannikov A., Zhumadilov Z., Toyoda S., Tanaka K., Endo S., 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, vol. 47, pp. 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, vol. 46, pp. 765-771.
9. **Tielewuhun 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, vol. 41, pp. 410-417.
10. **Sholom S., Desrosiers M., Chumak V., Luckyanov N., Simon S.L., Bouville A.** UV effect in tooth enamel and their possible application in EPR dosimetry with front teeth. *Health Phys.*, 2010, vol. 98, pp. 360-368.
11. **Zhumadilov K.S., Ivannikov A.I., Skvortsov V.G., Zhumadilov Zh.S., Endo S., Tanaka K., Hoshi M.** Tooth enamel EPR dosimetry: selecting optimal spectra registration parameters and effects of sample mass on sensitivity. *J. Radiat. Res.*, 2005, vol. 46, pp. 435-442.
12. **Ivannikov A.I., Sanin D., Nalapko M., Skvortsov V.G., Stepanenko V.F., Tsyb A.F., Trompier F., Zhumadilov K., Hoshi M.** Dental enamel EPR dosimetry: comparative testing of the spectra processing methods for determination of radiation induced-signal amplitude. *Health Phys.*, 2010, vol. 98, pp. 345-351.
13. **Zhumadilov K., Ivannikov A., Stepanenko V., Toyoda S., Zhumadilov Z., Hoshi M.** ESR dosimetry study of population in the vicinity of the Semipalatinsk Nuclear Test Site. *J. Radiat. Res.*, 2013, vol. 54, pp. 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, vol. 159, pp. 125-129.
15. **Ivannikov A., Zhumadilov K., Tielewuhun E., Jiao L., Apsalikov K.N., Berekenova G., Zhumadilov Zh., Toyoda Sh., Miyazawa C., Skvortsov V., Stepanenko V., Endo S., Tanaka K., 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, vol. 47, pp. A39-A46.

16. **Zhumadilov K., Ivannikov A., Apsalikov K., Zhumadilov Zh., Stepanenko V., Skvortsov V., Berekenova G., Toyoda S., Endo S., Tanaka K., Miyazawa C., Hoshi M.** Results of tooth enamel EPR dosimetry for population living in the vicinity of the Semipalatinsk nuclear test site. *Radiat. Meas.*, 2007, vol. 42, pp. 1049-1052.
17. **Zhumadilov K., Ivannikov A., Apsalikov K.N., Zhumadilov Zh., Toyoda Sh., Tieliewuhan E., Endo S., Tanaka K., Miyazawa C., Okamoto T., Hoshi M.** Radiation dose estimation by tooth enamel EPR dosimetry for residents of Dolon and Bodene. *J. Radiat. Res.*, 2006, vol. 47, pp. A47-A53.
18. **Ivannikov A.I., Trompier F., Gaillard-Lecanu E., Skvortsov V.G., Stepanenko V.F.** Optimization of recording conditions for the electron paramagnetic resonance signal used in dental enamel dosimetry. *Radiat. Prot. Dosim.*, 2002, vol. 100, pp. 531-538.
19. **Zhumadilov K., Ivannikov A., Zhumadilov Z., Stepanenko V., Apsalikov K., Rodzi M., Zhumadilova A., Toyoda S., Endo S., Tanaka K., Okamoto T., Hoshi M.** ESR dosimetry study on population of settlements nearby Ust-Kamenogorsk city, Kazakhstan. *Radiat. Environ. Biophys.*, 2009, vol. 48, pp. 419-425.