

К.Ш. Жумадилов¹, А.И. Иванников², В.Ф. Степаненко², М. Хоши³

¹Международная кафедра ядерной физики, новых материалов и технологий,

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

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

³Университет Хиросимы, Хиросима, Япония

(E-mail: zhumadilovk@gmail.com)

Оптимизация параметров измерений ЭПР дозиметрических спектров образцов зубной эмали

Оптимизация параметров измерения спектров для ЭПР спектроскопии по зубной эмали была выполнена с целью повышения точности метода. Неопределенность определения дозы непосредственно измеряется как среднее квадратичное отклонение экспериментальных доз от номинальных доз при различной микроволновой мощности и времени измерения спектров для десяти образцов зубной эмали, облученных в диапазоне от 0 до 500 мГр. Измерения проводились с использованием спектрометра JEOL JES-FA100, работающего в X-диапазоне и оснащенного цилиндрическим резонатором ES-UCX2 с высоким коэффициентом добротности (Q-фактор) режима TE011 в Университете Хиросимы. Измерения образцов проводились при одинаковых параметрах измерения, но при разных мощностях микроволнового излучения (СВЧ), а также при разном времени накопления спектров. Минимальная неопределенность была достигнута при мощности СВЧ около 2 мВт. Для определения оптимальных условий регистрации спектров были проведены прямые измерения параметров SDS и SDR. При установленном общем времени измерения меньшая неопределенность получается, если принять среднее значение экспериментальных доз, полученных из нескольких многократно измеренных спектров после встряхивания образца и вращения трубки, чем из одного спектра, записанного при более длительном времени накопления.

Ключевые слова: ЭПР-дозиметрия, зубная эмаль, доза радиации, время накопления, X-диапазон.

Введение

Экспериментальное определение дозы внешнего облучения методом ЭПР (электронно-парамагнитный резонанс) спектроскопии по зубной эмали является очень важным инструментом для реконструкции дозы при радиационных авариях [1-3]. Спектр облученной зубной эмали состоит из двух компонентов: основного фоновый сигнала (BGS) и радиационно-индуцированного сигнала (RIS), которые перекрывают друг друга. Интенсивность RIS зависит от дозы, поглощенной эмалью, и используется для реконструкции дозы.

В области низких доз (менее 0,5 Гр) точность определения дозы с использованием метода ЭПР дозиметрии существенно зависит от качества спектров ЭПР. Качество спектров зависит от чувствительности спектрометра, массы образца и параметров регистрации спектра, таких как мощность СВЧ, амплитуда модуляции, время накопления и другие. Также точность определения дозы зависит от процедуры обработки спектров, которая используется для определения интенсивности RIS [4, 5]. Поэтому качество спектров должно оцениваться по критерию того, что он должен обеспечивать максимальную точность определения дозы относительно того, что для обработки спектров используется определенная процедура.

Для обработки спектров была разработана компьютерная программа, которая использует наименьшее квадратическое приближение модельного спектра к экспериментальному спектру [6]. Влияние времени накопления спектров на точность определения дозы еще недостаточно исследовано, чтобы давать определенные рекомендации для получения наилучшей точности [7]. Обычно принято, что при более длительном времени накопления получается лучшее отношение сигнал/шум, что, предположительно, приводит к повышению точности. Выбор времени накопления обычно основан на интуитивных соображениях, основанных на разумном максимальном времени, которое может быть потрачено на измерения. В ходе третьего интерсличения [8] исследовательские группы использовали широкий диапазон времени накопления (от 20 до 110 мин), однако корреляции точности определения дозы с этими параметрами не наблюдалось.

Необходимо было разработать метод ЭПР дозиметрии, подходящий для широкого применения. Процесс реализации метода должен быть максимально автоматизирован. По этой причине был разра-

ботан автоматический алгоритм обработки спектров [6], а следующим шагом будет поиск оптимальных параметров регистрации спектров, которые обеспечивают максимальную точность определения дозы.

Целью данного исследования является разработка подхода для оптимизации параметров регистрации спектров, таких как СВЧ-мощность и время накопления, обеспечивающие наилучшую точность ЭПР дозиметрии. Оптимизация параметров измерения выполнена с использованием спектрометра JEOL JES-FA100 [6].

*Метод исследования. Оборудование.
Подготовка проб и облучение*

Зубная эмаль была приготовлена из десяти молярных зубов, собранных по медицинским показаниям и не подвергавшихся радиоактивному воздействию. Эмаль была отделена от дентина вручную, используя борную машинку со сверлами из твердого сплава, далее эмаль была измельчена щипцами на гранулы размером 0,5-1,5 мм. Было доказано, что такой размер гранул является оптимальным с точки зрения минимизации эффектов анизотропии образца и поверхностных эффектов при дроблении эмали, что обычно приводит к искажению ЭПР сигнала [9]. Измельченная эмаль из разных зубов была смешана.

Смешанная масса была поделена на 10 аликвот с массой образца 100 мг, и далее образцы облучали источником ^{60}Co в Университете Хиросимы дозами 0, 100, 200, 300 и 500 мГр, по два образца для каждой дозы. Эти образцы использовались для калибровки сигнала ЭПР дозы и оптимизации параметров регистрации спектров. Дозы устанавливали с использованием ткане-эквивалентного дозиметра со стандартной точностью не хуже 3 % [10, 11].

Измерение спектров ЭПР

Измерения спектров ЭПР проводились при стабилизированной комнатной температуре 21 °С с помощью ЭПР спектрометра JEOL JES-FA100, работающего в X-диапазоне и оснащенного цилиндрическим резонатором ES-UCX2 с высоким коэффициентом добротности (Q-фактор) режима TE011 [12]. Согласно показаниям спектрометра пустая полость имеет Q-коэффициент 7440 и варьируется от 6000 до 7436 при загрузке кварцевой 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 составляла 2 мВт, число спектральных сканирований — 40, что соответствует времени накопления спектров 20 мин. При оптимизации условий записи использовались различные настройки мощности СВЧ и времени накопления.

Сигнал контрольного образца, содержащего Mn^{2+} , установленный в полости, регистрировался вместе со спектром образца эмали. Этот сигнал использовался для коррекции положения поля при обработке спектров. Для всех образцов использовалась одна трубка JEOL с внутренним диаметром 3 мм. Трубка располагалась в полости резонатора так, чтобы центр образца совпадал с центром полости. Сигнал в спектре трубки принимался пренебрежимо малым, и никакого вычитания этого спектра не проводилось.

Время развертки и постоянная времени приемника были установлены в соответствии с имеющимися рекомендациями [5, 13]. Принципы настройки этих параметров следующие. Чтобы не нарушать форму линии, время прохождения линии должно быть, как минимум, в десять раз выше по сравнению с постоянной времени приемника и временем релаксации спиновой решетки (T_1). Это условие дает следующее соотношение:

$$\left(\frac{\text{Время прохождения линии}}{10} \right) = \left(\frac{\text{Ширина линии}}{\text{Ширина развертки}} \right) \times \left(\frac{\text{Время развертки}}{\text{постоянная времени приемника или } T_1} \right) > \quad (1)$$

Типичные значения T_1 в кристаллической системе ниже 10^{-4} с [13]. Поэтому условие, налагаемое T_1 , выполняется со временем развертки в течение 0,1 с, и разумные ограничения этого параметра задаются постоянной времени приемника. Спектр зубной эмали состоит из линий шириной более 0,3 мТл; ширина линии сигналов Mn^{2+} составляет около 0,1 мТл (фактически ширина линии 0,075 мТл, но она расширяется из-за относительной амплитуды модуляции 0,3 мТл). Принимая во внимание ширину линии при ширине развертки 10 мТл, должно быть выполнено следующее соотношение, чтобы не нарушить спектр с минимальной шириной линии 0,1 мТл:

$$\left(\frac{\text{Время развертки}}{\text{постоянная времени приемника}} \right) \geq 1000 \quad (2)$$

Отношение сигнал/шум, характеризующее качество спектра, может быть улучшено за счет увеличения постоянной времени приемника и/или увеличения количества накоплений спектров, что приводит к увеличению времени накопления спектров. Время развертки и постоянную времени приемника можно выбрать достаточно произвольно, с учетом условия, налагаемого уравнением (2). В настоящей работе значения 30 с выбираются для времени развертки и 30 мс — для постоянной времени приемника.

Обработка спектров

Компьютерная процедура автоматической обработки спектров, описанная в недавней публикации [6], использовалась для разделения RIS и оценки его интенсивности. Эта процедура способна сделать развертку экспериментального спектра облученной эмали с использованием нелинейного метода наименьших квадратов с помощью модельного спектра, описывающего RIS и BGS в аналитической форме. Процедура обработки спектров была применена в режиме с описанием BGS двумя компонентами, состоящими из комбинации производных гауссовых функций. Окно было установлено с левой границей $-1,0$ мТл и правой границей $+2,0$ мТл относительно максимума BGS. В процессе подгонки изменялись следующие параметры: амплитуда RIS, амплитуды узких и широких компонентов BGS, ширина узкой компоненты BGS, вертикальные и горизонтальные смещения спектров. Другие параметры модели (параметры, описывающие форму RIS, сдвиг между RIS и BGS, ширину широкой составляющей BGS) устанавливались постоянными, как они были получены при оптимизации процедуры [6]. Коррекция базовой линии выполнялась путем подгонки полинома первого порядка к двум областям спектра между сигналом зубной эмали и двумя сигналами Mn^{2+} .

Калибровка, определение экспериментальных доз

Наборы спектров десяти образцов, измеренных с одинаковыми параметрами записи, обрабатывали для получения амплитуд RIS. Для каждого набора параметров записи калибровочная линия была определена с использованием метода линейной регрессии [14, 15] от зависимости амплитуды RIS от номинальных доз. Экспериментальные дозы определялись для тех же образцов из амплитуд RIS, используя полученную калибровочную линию. Эта процедура определения калибровочных и экспериментальных доз выполнялась автоматически программой обработки спектров для каждого набора для десяти образцов, измеренных при данных условиях записи. Экспериментальные дозы были получены в результате измерения одиночного спектра, а также усреднены по результатам, полученным для четырех повторных измерений спектра при каждом наборе параметров записи после встряхивания образца и вращении трубки под произвольным углом. Среднее квадратическое отклонение экспериментальных доз от номинальных доз (стандартное отклонение) использовалось как параметр, характеризующий неопределенность результата дозы. Этот параметр определяли для экспериментальных доз, полученных при единичном измерении (SDS), и при усреднении по результатам, полученным для четырех повторных измерений (SDR).

Результаты и обсуждение

Измерение спектров при различном времени накопления и мощности СВЧ

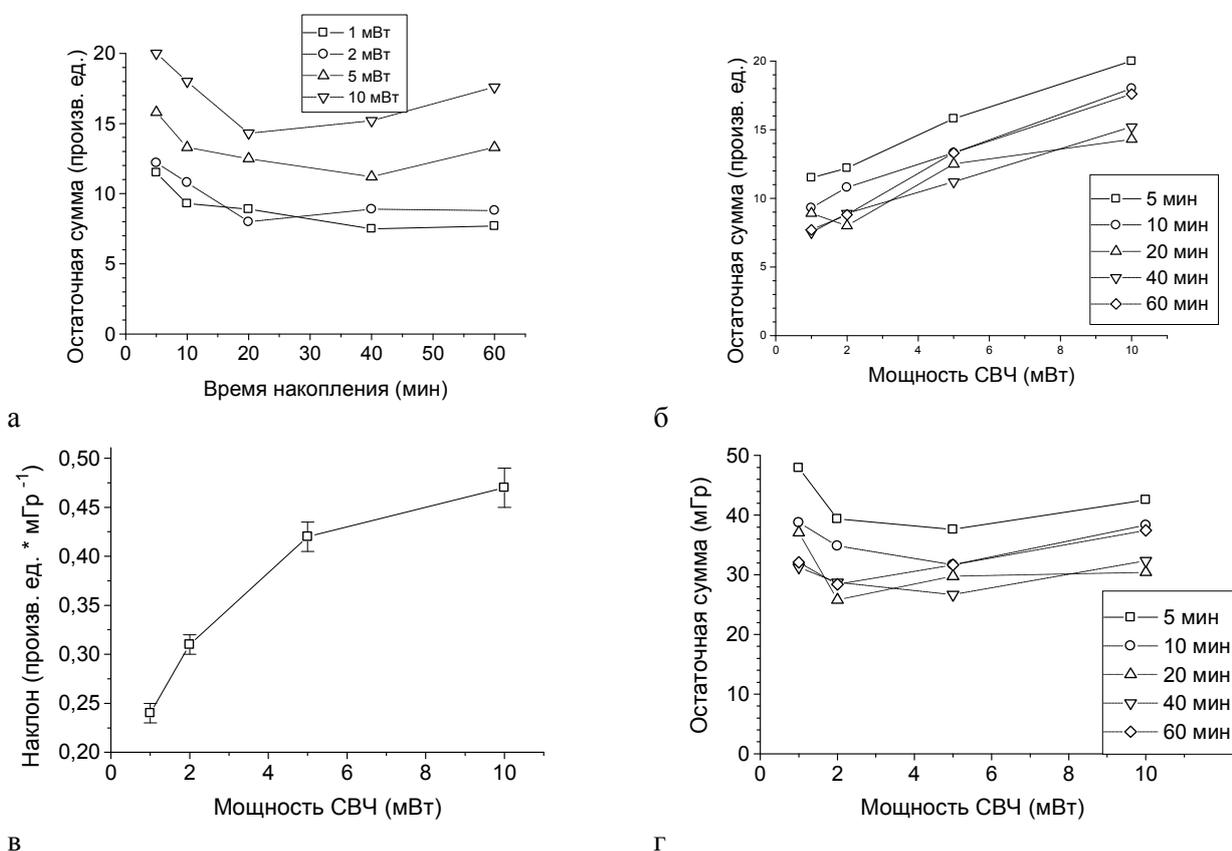
Спектры десяти образцов по 100 мг, облученных в разных дозах, регистрировались при 10, 20, 40, 80 и 120 сканированиях (что соответствует времени накопления 5, 10, 20, 40, 60 мин соответственно) и при мощности микроволн 1, 2, 5 и 10 мВт. Измерения повторялись четыре раза для каждого образца после его встряхивания и вращении трубки с образцом под произвольным углом при каждом наборе параметров записи. Таким образом, для каждой пары значений времени и мощности накопления было записано 40 спектров. Всего было записано 800 спектров.

Анализ зависимостей для остаточной суммы

Качество установки спектров характеризуется остаточным сигналом, полученным как разность между моделью и экспериментальными спектрами после подгонки при обработке спектра. Остаточный сигнал характеризуется остаточной суммой (RS), которая получена из ее среднеквадратичной амплитуды. RS получается в результате усреднения значений, полученных при математической обработке четырехкратно измеренных спектров десяти образцов, облученных разными дозами. Зависимости RS от времени накопления, измеренного при различной мощности СВЧ, показаны на рисунке 1а. Видно, что RS значительно уменьшается, когда время накопления увеличивается до 20 мин. При бо-

лее высоком времени накопления RS постепенно уменьшается на 1 мВт и даже имеет тенденцию к росту при мощности 2 мВт и более. Поэтому можно принять, что увеличение времени накопления по некоторому пределу неэффективно для улучшения качества установки спектров. В случае данных условий измерений спектра и данного типа спектрометра этот предел выглядит как 20-40 мин. Наблюдаемый эффект, вероятно, вызван эксплуатационной нестабильностью спектрометра (дрейфом базовой линии, сигналами, вызванными электромагнитными возмущениями, вероятными эффектами изменения комнатной температуры по параметрам спектрометра и т. д.) и становится более заметным при более длительном времени накопления. Действительно, при увеличении времени накопления, хотя компонент высокочастотного шума в остаточном сигнале (спонтанные сигналы, характеризующиеся шириной ниже 0,1 мТл) уменьшается, компонент низкочастотного шума (характеризующийся шириной более 0,1 мТл) имеет тенденцию к увеличению.

RS увеличивается при увеличении мощности СВЧ (рис. 1б). Это связано с увеличением как низкочастотных, так и высокочастотных шумовых компонентов в спектрах. Если преобразовать значения RS в единицы дозы, поглощенной эмалью, разделяющей их по наклону калибровочной линии (рис. 1в), новые детали влияния СВЧ-мощности на RS становятся выраженными (рис. 1г), показывающими минимум в площадь около 2 - 4 мВт. Наличие этого минимума, вероятно, связано с неполным подбором модели в широком диапазоне мощности СВЧ и эффектами спектральных шумов, к которым сигнал пустой трубки для измерений может вносить вклад наряду с другими источниками шума.



а — от времени накопления спектров, определенного при разной мощности СВЧ; б — от микроволновой мощности при различном времени накопления; в — зависимость наклона калибровочной линии от дозы сигнала ЭПР от мощности микроволн; г — от мощности СВЧ, преобразованной в единицы дозы, поглощенной эмалью, в соответствии с наклоном калибровочной линии. Мощность микроволн и значения времени накопления представлены на графиках

Рисунок 1. Зависимости остаточной суммы

Изменение формы сигнальной линии BGS при различной мощности СВЧ учитывается при обработке спектра путем изменения ширины его узкой составляющей и амплитуд узких и широких компонентов. Форма RIS не изменяется при подгонке и остается неизменной при разной мощности. Совершенствование модели необходимо, чтобы учесть более полную модификацию спектра при разной мощности.

Силовая зависимость среднеквадратичного сигнала пустой трубки образца, преобразованной в дозовые единицы в соответствии с наклоном калибровочной линии, представлена на рисунке 2. Среднеквадратичный сигнал определяется в том же диапазоне магнитного поля, что и окно подгонки. Видно, что этот сигнал сравним с RS и даже превосходит его при некоторых значениях мощности. Поэтому сигнал пустой трубки дает важный вклад в RS. С другой стороны, этот сигнал, как ожидается, не окажет значительного влияния на результаты определения дозы, поскольку он способствует повышению уровня смещения, полученного при калибровке. Тем не менее следует исследовать влияние этого сигнала на точность, чтобы выяснить, необходимо ли вычитать этот сигнал при обработке спектров.

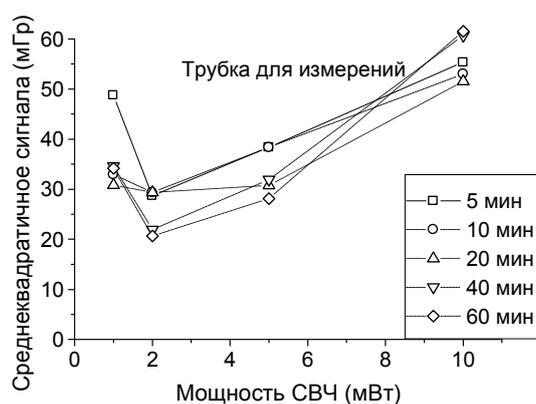


Рисунок 2. Зависимости среднеквадратичного сигнала пустой трубки для измерения преобразованной в единицы дозы, поглощенной эмалью от мощности СВЧ, определенной при разных временах накопления. Значения времени накопления представлены на панели графика

Анализ зависимостей неопределенности определения дозы

Для определения оптимальных условий регистрации спектров были проведены прямые измерения параметров SDS и SDR, характеризующие неопределенность определения дозы в зависимости от времени накопления спектров и мощности микроволн. Зависимости SDS и SDR от времени накопления, определенного при различной мощности микроволн, представлены на рисунке 3. Видно, что эти параметры значительно уменьшаются при увеличении времени накопления до 20 мин, а затем значительно уменьшаются или даже имеют тенденцию к увеличению для некоторых значений мощности. Причина увеличения неопределенности может быть такой же, как и для RS — эффекты неустойчивости спектрометров становятся очевидными с большим временем накопления.

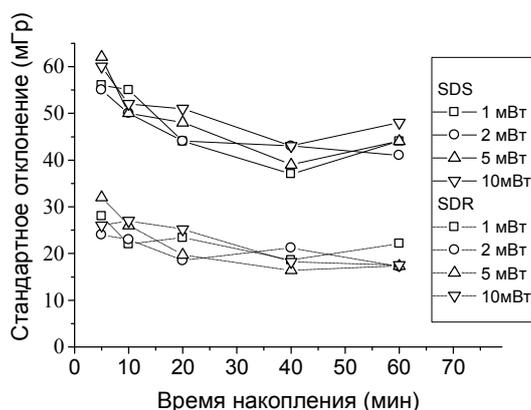
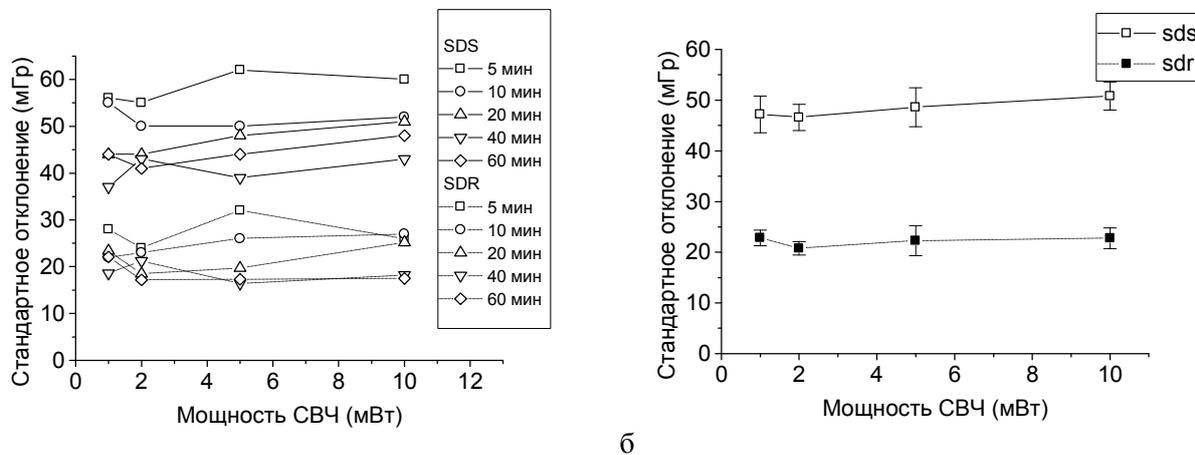


Рисунок 3. Зависимости стандартного отклонения экспериментальных доз от номинальных доз для однократного измерения (SDS) и усредненного по четырем повторным измерениям (SDR) от времени накопления, определенного при различной мощности микроволн. Значения мощности представлены на панели графика

Усреднение четырех повторных измерений приводит к уменьшению неопределенности значения дозы в 2 раза. Увеличение времени накопления в четыре раза приводит к уменьшению неопределенности не более чем на 30 %. Поэтому при заданном общем времени измерения целесообразно принимать среднее значение определения дозы из нескольких повторных спектральных измерений после встряхивания образца и вращения трубки, чем использовать односпектральное измерение с большим временем накопления.



а — для одиночного измерения (SDS) и усредненного по четырем повторным измерениям (SDR). Суммы времени накопления представлены на панели рисунка; б — зависимости SDS и SDR от мощности СВЧ, усредненные по разным временам накопления. Шкалы ошибок указывают на неопределенность средних значений

Рисунок 4. Зависимости стандартного отклонения экспериментальных доз от номинальных доз для мощностей СВЧ, определенных для различного времени накопления

Зависимости SDS и SDR от мощности СВЧ, определенные при различном времени накопления, представлены на рисунке 4а. В этих зависимостях вряд ли можно найти отдельный минимум. Однако в зависимостях, усредненных для разного времени накопления (рис. 4б), наблюдается минимум при 2 мВт. Этот минимум не очень выражен; тем не менее наличие этого минимума вместе с наблюдаемым минимумом в зависимостях RS, преобразованных в единицы дозы (рис. 1в), придает приоритет выбору 2 мВт в качестве оптимальной мощности, обеспечивающей наименьшую неопределенность определения дозы.

Выводы

Проведены прямые измерения погрешности определения экспериментальной дозы в эмали из спектров ЭПР, измеренных в спектрометре JEOL JES-FA100 при различном времени накопления спектров и мощности СВЧ. Установлено, что минимальная неопределенность экспериментального определения дозы при СВЧ-мощности регистрации спектров составляет 2 мВт. Показано, что увеличение времени накопления спектров на некотором значении около 20-40 мин не приводит к повышению точности определения дозы, вероятно, из-за временной нестабильности спектрометра. При ограниченном заданном общем времени измерения предпочтительно использовать средние результаты определения дозы, полученные из многократно измеренных спектров при уменьшенном времени накопления.

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).

Список литературы

- 1 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.
- 2 Zhumadilov, K., Ivannikov, A., Apsalikov, K., Zhumadilov, Zh., Stepanenko, V., Skvortsov, V., & et al. (2007). Results of tooth enamel EPR dosimetry for population living in the vicinity of the Semipalatinsk nuclear test site. *Radiat. Meas.* 42. 1049–1052.
- 3 Zhumadilov, K., Ivannikov, A., Zhumadilov, Z., Stepanenko, V., Apsalikov, K., Rodzi, M., & et al. (2009). ESR dosimetry study on population of settlements nearby Ust-Kamenogorsk city, Kazakhstan. *Radiat. Environ. Biophys.* 48. 419–425.
- 4 Ivannikov, A.I., Sanin, D., Nalapko, M., Skvortsov, V.G., Stepanenko, V.F., Tsyb, A.F., et al. (2010). Dental enamel EPR dosimetry: comparative testing of the spectra processing methods for determination of Radiation induced-signal amplitude. *Health Phys.*, 98, 345–351.
- 5 Tielewuhan, E., Ivannikov, A., Zhumadilov, K., Nalapko, M., Tikunov, D., Skvortsov, V., & et al. (2006). Spectra processing at tooth enamel dosimetry: analytical description of EPR spectrum at different microwave power. *Radiat. Meas.* 41. 410–417.
- 6 Ivannikov, A.I., Trompier, F., Gaillard-Lecanu, E., Skvortsov, V.G., & Stepanenko, V.F. (2002). Optimization of recording conditions for the electron paramagnetic resonance signal used in dental enamel dosimetry. *Radiation Protection Dosimetry* 100. 531–538.
- 7 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.
- 8 Wieser, A., & et al. (33 co-authors) (2005). The 3rd international intercomparison on EPR tooth dosimetry: Part 1, general analysis. *Applied Radiat. Isot.*, 62(2), 163–171.
- 9 Iwasaki, M., Miyazawa, C., Uesawa, T., Niva, K. (1993). Effect of sample grain size on the CO33-signal intensity in ESR dosimetry of human tooth enamel. *Radioisot.* 42. 479–473.
- 10 Ivannikov, A.I., Tikunov, D.D., Borysheva, N.B., Trompier, F., Skvortsov, V.G., Stepanenko, V.F., & Hoshi, M. (2003). Calibration of EPR signal dose response of tooth enamel to photons: experiment and Monte Carlo simulation. *Radiation Protection Dosimetry* 108(4), 303–315.
- 11 Wieser, A., & et al. (32 co-authors) (2000). The 2nd International intercomparison on EPR tooth dosimetry. *Radiation Measurements.* 32. 549–557.
- 12 Oliveira, L.M., Rossi, A.M., & Lopes, R.T. (2000). Gamma dose response of synthetic A-type carbo-nated apatite in comparison with the response of tooth enamel. *Applied Radiation and Isotopes*, 52, 1093–1097.
- 13 Poole, C.P. (1983). *Electron Spin Resonance*. (2d ed.). Wiley, New York.
- 14 Bevington, Ph.R., & Robinson, D.K. (1994). *Data Reduction and Error Analysis for the Physical Sciences*. McGraw-Hill, Inc., Singapore.
- 15 Tanaka, K., Endo, S., Ivannikov, A., Toyoda, S., Tieliewuhan, E., Zhumadilov, K., & et al. (2006). Study on influence of X-ray baggage scan on ESR dosimetry for SNTS using human tooth enamel. *Journal of Radiation Research*, 46, 435–442.

К.Ш. Жумадилов, А.И. Иванников, В.Ф. Степаненко, М. Хоши

Тіс эмалі үлгілерінің ЭПР дозиметриялық спектрлерін өлшеу параметрлерін оңтайландыру

Тіс эмаліне арналған ЭПР спектроскопия әдісінің дәлдігін жақсарту үшін, спектрлерді өлшеудің шарттары оңтайландырылды. Мөлшер анықтаудың белгісіздігі 0–500 мГр дейінгі аралығында сәулелендірген 10 тіс эмалінің үлгілері үшін әртүрлі микротолқынды қуаттылығы және спектрлерді өлшеудің уақытылығы кезіндегі номиналды дозалардан эксперименталды дозалардың орташа квадраттық ауытқуы ретінде тікелей өлшенеді. Өлшеу X-диапазонында жұмыс істейтін және Хиросима университетіндегі TE011 режимінің жоғары Q факторы бар ES-UCX2 цилиндрлік резонаторымен жабдықталған JEOL JES-FA100 спектрометріне арналған. Үлгілерді өлшеу бірдей өлшеу параметрлері бойынша, бірақ микротолқынды сәулеленудің әртүрлі қуаттылығында (SHF), сондай-ақ спектрдің әртүрлі жинақтау уақыттарында жүзеге асырылды. Ең аз белгісіздікке шамамен 2 мВт микротолқынды қуатта қолжеткізілді. Спектрді жазудың оңтайлы жағдайларын анықтау үшін SDS және SDR параметрлерін тікелей өлшеу жүргізілді. Ұзақ уақыт жинақталып жазылған бір спектрге қарағанда, үлгіні шайқап және түтікті айналдырғаннан кейін бірнеше рет өлшенген спектрлерден алынған эксперименталды дозалардың орташа мәнін қабылдап алынған жалпы өлшеу уақыты белгіленген жағдайда белгісіздік аз болады.

Кілт сөздер: ЭПР дозиметриясы, тіс эмалі, сәулелену дозасы, жинақтау уақыты, X-диапазоны.

K.Sh. Zhumadilov, A.I. Ivannikov, V.F. Stepanenko, M. Hoshi

Optimization of dental enamel EPR dosimetry spectra measurements parameters

Optimization of parameters for measuring spectra for EPR spectroscopy by tooth enamel was performed with the aim of increasing the accuracy of the method. The uncertainty of the dose determination is directly measured as the mean square deviation of the experimental doses from the nominal doses at different microwave power and the time of measurement of the spectra for ten samples of enamel irradiated in the range from 0 to 500 mGy. The measurements were carried out for the JEOL JES-FA100 spectrometer operating in the X-band and equipped with a cylindrical resonator ES-UCX2 with a high Q factor of the TE011 regime at the University of Hiroshima. Measurements of the samples were carried out at the same measurement parameters, but at different powers of microwave radiation (SHF), as well as for different accumulation times of the spectra. The minimum uncertainty was reached at a microwave power of about 2 mW. To determine the optimal conditions for recording the spectra, direct measurements of the parameters SDS and SDR were carried out. When the total measurement time is set, a lower uncertainty is obtained if we take the average value of the experimental doses obtained from several repeatedly measured spectra after shaking the sample and rotating the tube than from one spectrum recorded at a longer accumulation time.

Keywords: EPR dosimetry, tooth enamel, dose of radiation, accumulation time, X-band.