

<https://doi.org/10.52676/1729-7885-2022-1-36-42>

УДК 539.2:539.1

ИЗУЧЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ДОЗИМЕТРИИ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОННОГО ПАРАМАГНИТНОГО РЕЗОНАНСА НА АЛАНИНЕ ДЛЯ ИЛУ-10 ИЯФ РК

Ж.Т. Мукан^{1,2)}, Т.А. Середавина¹⁾, Н.С. Сушкова¹⁾, И.В. Данько¹⁾, Н.В. Глущенко¹⁾

¹⁾ *Институт ядерной физики МЭ РК, Алматы, Казахстан*

²⁾ *Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан*

E-mail для контактов: jtmukan@inp.kz

Проведено экспериментальное исследование возможностей применения метода электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) и аланиновых детекторов для контроля доз при технологических облучениях тормозным излучением на ускорителе ИЛУ-10 ИЯФ РК. Изучена стабильность сигнала и чувствительность оригинальных аланиновых детекторов, показана их работоспособность в стандартных режимах; в области малых доз тормозного излучения (0,005–1 кГр) для оценки доз использована калибровка по гамма-облучению, подтверждена перспективность аланиновой ЭПР-дозиметрии на ускорителе ИЛУ-10 ИЯФ РК.

Ключевые слова: радиационные технологии (РТ), дозиметрический контроль, метод ЭПР дозиметрии, аланиновые детекторы, ускоритель электронов ИЛУ-10, парамагнитные центры (ПМЦ).

ВВЕДЕНИЕ

Радиационные технологии все шире применяются в мировой практике для решения научных и технических задач. Исследования и технологические разработки в этой области проводятся в таких актуальных направлениях, как стерилизация медицинских изделий, обработка пищевых продуктов, обработка сельскохозяйственной продукции и вопросы дозиметрии. Для радиационной обработки используют гамма-излучатели Co-60 и Cs-137, ускорители электронов с энергией электронов до 10 МэВ, а также тормозное излучение, полученное на ускорителях с энергией электронов до 5 МэВ, дозы облучения находятся в пределах 0,05–10⁶ Гр [1, 2].

Вопросы дозиметрии в радиационных технологиях специфичны, вследствие широкого интервала измеряемых доз, востребованности методов дозиметрии, отличающихся для высоких и относительно малых доз, причем для конкретной задачи используется, как правило, узкий дозовый диапазон.

Наиболее употребительна дозиметрия на основе спектроскопии в различной области частот. Среди методов, использующих твердотельные детекторы, ЭПР-дозиметрия, основанная на регистрации парамагнитных центров (ПМЦ), возникающих при облучении, отличается высокой чувствительностью, по сравнению, например, с пленочной дозиметрией в оптической области.

Более того, метод электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) относится к неразрушающим методам контроля, так как энергия воздействия мала при сравнении с тепловой, что естественным образом определяет такое достоинство метода ЭПР, как воспроизводимость, возможность неоднократных измерений, в отличие, например, от термолюминесцентных методов. Для дозиметрического контроля технологических облучений ВОЗ и МАГАТЭ рекомендуют ЭПР-дозиметрию на аланине на основе международных стандартов [3–5].

Метод ЭПР-дозиметрии развивался в ИЯФ РК в течение двух десятилетий [5], научные и технические аспекты ЭПР-дозиметрии по аланину всесторонне исследованы [5–7], в том числе в рамках проектов, финансируемых МНТЦ и МОН РК. Разработаны состав и параметры детекторов в форме дозиметрических таблеток (ДТ) [6, 7], изучалось применение для дозиметрии нейтронного и гамма-излучения [6, 7], для развития ретроспективной дозиметрии облученных пищевых продуктов [8–11].

Сопровождение радиационной обработки медицинской и пищевой продукции на электронном ускорителе ЭЛВ-4 ИЯФ РК методом ЭПР-дозиметрии разрабатывалось с учетом требований стандартов и на основе предварительных исследований, получены полезные результаты [3, 4, 8–10].

Цель данной работы – экспериментальное исследование применимости ЭПР-дозиметрии на аланине на электронном ускорителе ИЛУ 10, в том числе в области малых доз тормозного γ -излучения.

Существуют различные составы и формы выпуска аланиновых дозиметров в разных фирмах, включая Bruker, поэтому объективно обусловлена и актуальна проверка чувствительности и стабильности сигнала в ДТ, разработанных в ИЯФ. Исследование возможностей внедрения ЭПР-дозиметрии на аланине для контроля технологических облучений на электронном ускорителе ИЛУ-10 в ИЯФ РК начато недавно [9, 11]. В работе обсуждаются результаты изучения чувствительности ЭПР-детекторов при облучениях на ИЛУ-10 ускоренными электронами и тормозным излучением в интересующем интервале доз. Работоспособность детекторов испытана в разных рабочих режимах, при работе с конвертором ДТ помещали в калибровочный фантом [12]. Эксперименты подтвердили длительную стабильность сигнала в аланиновых детекторах.

Актуальность темы обусловлена предполагаемым развитием направления по обработке сельхозпродук-

ции, например, семян для стимуляции всхожести либо подавления прорастивания. Изучение работоспособности ЭПР-детекторов на аланине и стабильности сигнала в указанных условиях и интервале доз является актуальной задачей ЭПР-дозиметрии.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Методика облучательного эксперимента

В качестве объекта исследования использованы дозиметрические таблетки (ДТ) на аланине, облученные на ИЛУ-10 тормозным излучением, полученным при конверсии ускоренных электронов с энергией 5 МэВ при средних токах электронного пучка от 0,26 до 6,12 мА через танталовый конвертер. В работе проведены облучательные эксперименты на электронном ускорителе ИЯФ ИЛУ-10. Задачей экспериментов была адаптация метода ЭПР-дозиметрии к контролю радиационной обработки сельскохозяйственной и пищевой продукции в области малых доз тормозного излучения (0,001–1 кГр). Для дозиметрического сопровождения проводимых экспериментов использовали детекторы в форме таблеток, разработанные в ИЯФ в рамках Проекта МНТЦ К 236 и Проекта МОН для контроля радиационных полей. Таблетированные дозиметры для экспериментов на ИЛУ-10 изготавливали прессованием при нагреве смеси порошков референсного материала аланина в заданном соотношении с нейтральным связующим, не дающим вклад в радиационный сигнал ЭПР.



Рисунок 1. Общий вид конвейера ускорителя ИЛУ-10

ИЛУ-10 – стандартная технологическая установка, ускоритель электронов с системой сканирования пучка, с конвейером для дистанционной транспортировки упаковок с обрабатываемыми изделиями в зону облучения для стерилизации. Развёртка пучка осуществляется на ширину конвейера перпендикулярно к направлению движения. Общий вид выпускного устройства, а также стандартный калибровочный фантом для дозиметров из аланина [12] показаны на ри-

сунках 1–2, как и размеры дозиметров из аланина, размещаемых в фантоме на площадке транспортера. Гамма-калибровочные фантомы используются обычно для проведения серийной калибровки дозиметров на установках гамма-облучения [12].

Стандартный калибровочный фантом для гамма-излучения GEX P1010, представленный на рисунке 2, служит для размещения с целью облучения аланина и обычных дозиметров и транспортировки в фиксированном геометрическом положении, согласно стандарту ISO/ASTM 51261.



а)



б)

Рисунок 2. Калибровочный фантом GEX P1010 для электронного пучка 5 МэВ (а) и размещаемые образцы детекторов (б)

Для экспериментов по калибровке дозы при обработке тормозным излучением были приготовлены серии контрольных дозиметрических таблеток. Проведено двадцать облучательных экспериментов, условия которых отличались, что учитывалось при сравнении (изменялся средний ток пучка, скорость конвейера и время нахождения образцов под пучком не изменялись).

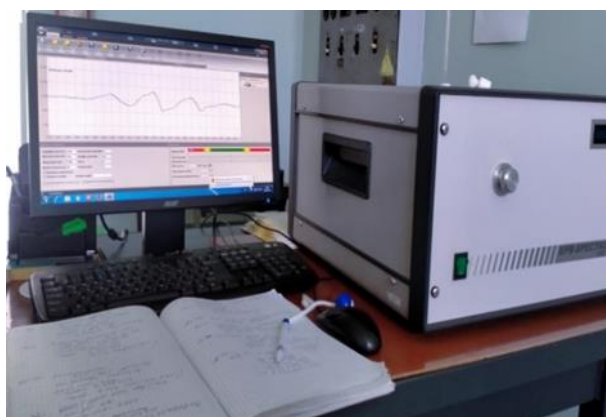
Условия облучения ДТ на ИЛУ-10 варьировали в соответствии с рабочими режимами: энергия ускоренных электронов в пучке 5 МэВ, импульс тока (30÷350 мА), частота тока в диапазоне 17÷35 Гц, средний ток (0,26÷6,12 мА), скорость (8 см/с). Заданный интервал доз обеспечивался путем изменения тока пучка электронов, попадающего на танталовый конвертер.

Регистрация спектров

Спектры ЭПР облученных детекторов из аланина регистрировали на спектрометрах в X-диапазоне, показанных на рисунке 3: ESP300E фирмы Bruker (Германия) со сферическим резонатором и ESR70-03XD/2 (Белоруссия), в обоих случаях использовали возможности реализации чувствительности спектрометра.



а)



б)

Рисунок 3. Общий вид спектрометров ESP300E (Bruker, Германия) (а), ESR70-03XD/2 (Белоруссия) (б)

Как принято в ЭПР-дозиметрии, для корректной информации о содержании парамагнитных центров (ПМЦ) выбраны оптимальные параметры регистрации спектров дозиметрических таблеток, приведенные в таблице 1, для сравнения даны условия записи для дозиметров фирмы Bruker [13].

Для получения информации о дозе измерялась величина амплитуды центральной компоненты сигнала ЭПР аланина. Аланин как твердотельная кислота имеет 2 изомера, обозначаемых согласно D, L-номенклатуре, оба используют в дозиметрии. При облучении аланина образуются радиационные ПМЦ – стабильные радикалы, регистрируемые методом ЭПР, дозовая зависимость сигнала ЭПР для аланина линейна в интервале доз до 10^5 Гр. Спектр ЭПР детек-

торов дозы из L,α-аланина, применяемого ИЯФ, по параметрам соответствует спектрам стандартных дозиметров, выпускаемых Bruker и другими известными фирмами, особенности радиационной чувствительности и сигналов аланина обсуждены в [13], сигнал виден на рисунке 3. Особенность аланиновой дозиметрии – аланин чувствителен только к дозе, но не другим характеристикам гамма-облучения.

Таблица 1. Параметры регистрации спектров дозиметрических таблеток ИЯФ и дозиметров фирмы Bruker

Характеристики	Детекторы ИЯФ РК	Дозиметры фирмы Bruker
Частота, ГГц	9,65	9,82
Микроволновая мощность, МВт	8	1
Центр поля / развертка поля, Гс	3434,85 / 150	3490 / 200
Модуляция, Гс / частота модуляции, кГц	2,64 / 100	3 / 100
Коефф. усиления на частоте модуляции	40 000	4 000
Время сканирования / записи, с	42 / 126	80 / 80
Разрешение по полю / скан	1024 / 3	1024 / 1

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Дозиметрия электронного излучения на ускорителях на основе метода ЭПР имеет свои особенности – спектр и диапазон энергий, градиент дозового поля и, соответственно, дозы по объему твердотельного дозиметра, что было изучено и показано в наших работах, и поэтому ряд технологических задач более эффективно решается с применением тормозного излучения.

Для корректной ЭПР-дозиметрии при облучениях на ИЛУ-10 использован метод линейной калибровки спектрометра, с целью получения калибровочной зависимости приготовлена серия контрольных детекторов.

Предварительно проводились эксперименты для подтверждения стабильности сигнала ЭПР от детекторов [7], выполнены измерения радиационного сигнала в аналогичных аланиновых детекторах, облученных ранее на ускорителе Elektronika linac, INCT, Варшава, Польша, электронами 5 МэВ [14]. Результаты, полученные в неоднократных сериях измерений сигналов, проведенных в ИЯФ РК, представлены в таблице 2.

Величины сигналов ЭПР в ДТ при повторной регистрации отличаются от исходных на 4–6% за два года, даже без учета разницы в условиях выполнения измерений (температура, влажность) и, возможно, в условиях хранения дозиметров, отклонения находятся в пределах погрешности эксперимента (от 10%) для малых доз.

Таблица 2. Сигналы ЭПР в ДТ из аланина при первичном и повторных измерениях

результаты 2021 г.					
Доза облучения, кГр	Масса табл., мг.	Амплитуда сигнала ЭПР		Ср. привед. амплитуда	Отклонение*, %
		2014 г.	2021 г.		
2	155,9	9700	12800	11250	+4,5
4	131,1	20400	20900	20650	+2,4
8	143,7	39700	36700	38200	-7,6
10	130,4	52200	47900	50050	-8,3
результаты 2016 г.					
Доза облучения, кГр	Масса табл., мг.	Амплитуда сигнала ЭПР		Ср. привед. амплитуда	Отклонение*, %
		2014 г.	2016 г.		
15	122,0	75000	73600	74300	-1,9
35	121,5	172000	166000	169000	-3,6
50	128,4	228000	216000	222000	-5,4

* – в интервале сравнительно небольших доз (2–4 кГр) отклонения сигнала до ~2–4%,
в интервале доз 8–10 кГр и более отмечен спад сигнала до ~4–8% до равновесного состояния.

Полученные результаты подтвердили достаточную стабильность сигнала в ДТ из аланина, что позволило провести рекогносцировочное изучение радиационного поля электронного ускорителя ЭЛВ-4 в стационарном режиме и показать, что дозиметры применимы для оперативного контроля доз, используемых при стерилизации.

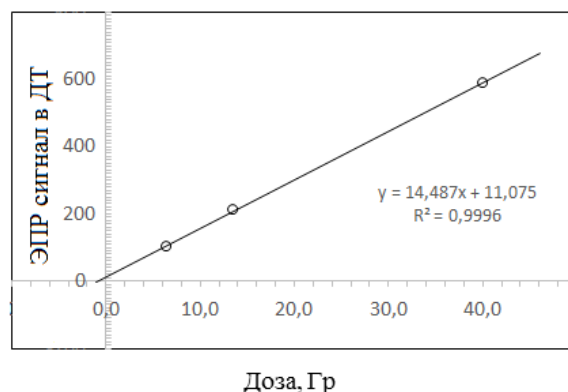
Получение калибровочной зависимости в интервале малых доз на ИЛУ-10

Для оценок дозы облучения на ИЛУ-10 методом линейной калибровки спектрометра серия приготовленных контрольных ДТ была облучена дозами 6,5÷40 Гр на гамма-установке Cs-137, привязанной к вторичному эталону МАГАТЭ в 2004 г. и прошедшей техническое освидетельствование в ИЯФ в 2021 г.

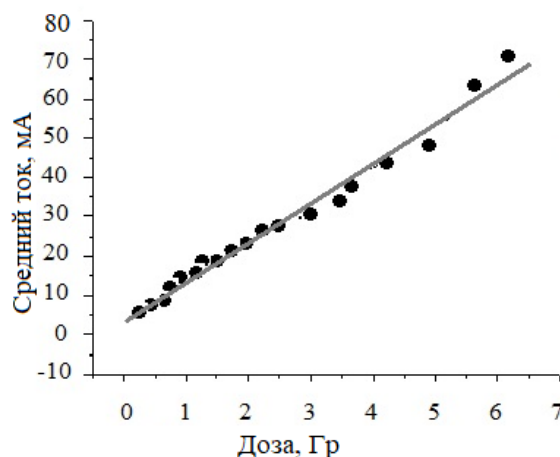
Измерения выполнены на спектрометре ESP300E при оптимальных параметрах регистрации (Таблица), для существенного повышения чувствительности спектрометра использовано многократное сканирование; математическая обработка полученных спектров включала сглаживание шумов, вычитание фонового сигнала, коррекцию базовой линии и т.д. Используемые условия регистрации: мощность СВЧ-излучения 16 мВт, амплитуда модуляции 0,47 мТл, развертка магнитного поля 2,4 мТл, время конверсии 5,24 мс. По результатам трехкратных измерений спектров получена калибровочная дозовая зависимость амплитуды ЭПР-сигналов ДТ по трем дозам гамма-излучения Cs-137 (рисунок 4, а).

Затем для серии из 20 дозиметрических таблеток проведены облучения тормозным излучением на ускорителе ИЛУ-10 с танталовым конвертером, с заданным повышением дозовой нагрузки путем изменения тока пучка. Ток пучка изменялся путем изменения тока импульса в диапазоне 30÷350 мА, частоты импульса в диапазоне 17–35 Гц. Условия облучения на ИЛУ-10: энергия пучка электронов – 5 МэВ, средний ток пучка ускоренных электронов –

0,26÷6,12 мА. Спектры ЭПР испытуемых образцов получены при условиях, выбранных для контрольных образцов, измерены ЭПР-сигналы.



а) градуировочная зависимость «сигнал ЭПР в ДТ / доза гамма-облучения на Cs-137»



б) – зависимость «средний ток пучка электронов на ИЛУ-10 / доза по сигналу в ДТ»

Рисунок 4. Калибровочные зависимости: оценки доз на ИЛУ-10/средний ток и доза/сигнал на ДТ, облученных на Cs-137

По калибровочной зависимости для гамма-облучения найдены экспериментальные дозы контрольных образцов. Зависимость дозы облучения, регистрируемой по амплитуде сигналов на ДТ, от среднего тока пучка ускоренных электронов I_{cp} при облучении на ускорителе электронов ИЛУ-10 с конвертором показана на рисунке 4, б.

Величина среднего тока I_{cp} задается путем изменения тока импульса и частоты импульса. Точки 1–13 на кривой, представленной на рисунке 4, б, получены в результате экспериментов, в которых величина поглощенной дозы изменялась путем изменения тока импульса. Точки 14–20 получены в результате экспериментов, в которых величина поглощенной дозы изменялась путем изменения частоты импульсов.

Величина тока пучка ускоренных электронов измерялась, регистрировалась и контролировалась в каждом эксперименте.

Из сравнения полученных данных следует, что изменение тока импульса незначительно повлияло на величины ЭПР сигналов, тогда как влияние частоты импульсов в большей степени влияет на ЭПР сигнал. Тем не менее, использование линейной аппроксимации позволяет вполне удовлетворительно описать экспериментальную зависимость дозы от среднего тока пучка ускоренных электронов, попадающих на танталовый конвертер. Полученные данные позволяют сделать вывод, что величина поглощенной дозы имеет линейную зависимость от среднего тока пучка ускоренных электронов, попадающих на танталовый конвертер.

Таким образом, экспериментальные данные подтвердили принципиальную возможность применения дозиметрии на аланине для сопровождения технологических режимов обработки тормозным излучением на ускорителе ИЛУ-10. Контрольные измерения отдельных точек помогают уточнить полученные зависимости. Отклонения от линейности частично можно объяснить возможной нестабильностью резонансных условий, колебаниями температуры и влажности в разных сериях измерений ЭПР-спектров. Предполагается дальнейшее исследование, с целью выявления факторов, влияющих на отклонения и повышение точности измерений путем уменьшения вклада случайных погрешностей.

Выводы

Изучена возможность применения аланиновых ЭПР-дозиметров на электронном ускорителе ИЛУ-10 для сопровождения технологических облучений тормозным излучением пищевой и сельскохозяйственной продукции.

Показана эффективность дозиметров из аланина, применяемых в ИЯФ, для оперативного и ретроспективного радиационного контроля, изучены практические аспекты, выявлены трудности внедрения ЭПР-дозиметрии и пути их устранения.

Интерпретация данных ЭПР-дозиметрии на ускорителе ИЛУ-10 в области малых доз тормозного излучения (0,005–1 кГр) опиралась на калибровочные данные для гамма-облучения. Подтверждена возможность получения уточненной калибровочной зависимости при контролируемых параметрах электронного и тормозного излучения.

Показана линейная зависимость величины поглощенной дозы от величины среднего тока пучка ускорителя ИЛУ-10, на основании чего можно сделать вывод, что величина ЭПР-сигнала не зависит от энергии гамма-квантов, поглощенная доза пропорциональна силе тока.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алимов, А. С. Практическое применение электронных ускорителей [ВИИЯФ им. Д. В. Скобельцына] / А. С. Алимов. – <http://www.knigi.konflib.ru/8bezopasnost/66691>.
2. Delincée, M. H. / Food Irradiation – Chemical Aspects. European School of Advanced Studies on Nuclear and Ionizing Radiation Technologies. // University of Pavia. – April 2005. – 43 p.
3. ISO/ASTM №51607; ASTM Standard E1607 “Standard Practice for Use of the Alanine EPR Dosimetry System”.
4. ГОСТ 31652-2012. Продукты пищевые. Метод электронного парамагнитного резонанса для выявления радиационно-обработанных продуктов, содержащих кристаллический сахар. – Введ, 2013-07-01. – М.: Стандартинформ, 2013.
5. Pivovarov, S. Some peculiarities and complications of ESR dosimetry in high dose / S. Pivovarov, A. Rukhin, T. Seredavina et al. // Techniques for High Dose Dosimetry. IAEA-TECDOC-1070. – 1999. – С. 221–226.
6. Пивоваров, С.П. Изучение свойств ЭПР аланина, облученного нейтронами / С.П. Пивоваров, С.В. Жданов, Т.А. Середавина, и др. // Тезисы докл. 3-й межд. науч. конф. «Ядерная и радиационная физика», 4–7 июня 2001 г., Алматы, Казахстан / [Отв. ред. К. К. Кадыржанов]. – Алматы, 2001. – С. 448.
7. Пат. № 13594 РК. Способ измерения дозы нейтронного облучения и индивидуальный дозиметр / Пивоваров, С.П., Павшук В.А., Кадыржанов К.К. и др., 2011.
8. Середавина, Т.А. Возможности ЭПР-дозиметрического контроля радиационной обработки пищевой и медицинской продукции / Т.А. Середавина, А.Б. Рухин, Ж.Т. Мукан и др. // Тезисы докл. VII межд. науч.-практ. конф. «Семипалатинский испытательный полигон. Радиационное наследие и перспективы развития», 21–23 сент. 2016 г., Курчатов, Казахстан. – Курчатов, 2016. – С. 85–86.
9. T.Seredavina, O.Stakhov, N.Sushkova, A.Nurkasymova. EPR-investigation of irradiated imported foodstuff and parameters of EPR signals. Eurasian Chemical Technological Journal. 2012. V.14, №4. P.343-349.
10. Seredavina, T.A. Study of Irradiated Food Products and Control by EPR Method in the Kazakhstan Republic / T.A. Seredavina, N.S. Sushkova, A.B. Rukhin, Zh.T. Mukan // Proceedings of 3rd International Conference on Food and Biosystems Engineering. Rhodes, Greece. – 2017. – P. 260–263.

11. Рухин, А.Б. Адаптация аланиновой ЭПР-дозиметрии к условиям технологических облучений электронами в ИЯФ РК / Рухин, А.Б., Середавина Т.А., Сушкова Н.С., Мукан Ж.К. // Тезисы докл. межд. науч. форума «Ядерная наука и технологии», посвящ. 60-летию Института ядерной физики (11-я межд. конф. «Ядерная и радиационная физика»; межд. конф. «Ядро-2017» (67-е Совещание по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра); 8-я Евразийская конф. «Ядерная наука и ее применение»), 12–15 сентября 2017 г., Алматы, Казахстан / [Отв. ред. Е. А. Кенжин]. – Алматы: РГП ИЯФ, 2017. – С. 329–330.
 12. ISO/ASTM 51261 – Standard Guide for Selection and Calibration of Dosimetry Systems for Radiation Processing.
 13. Иваницов А. Сигналы в аланине при альфа- и гамма-облучении. Радиация и риск. – Обнинск. – 2016. – Т. 25, – №1. С. 85–93.
 14. Institute of Nuclear Chemistry and Technology, Warsaw, Poland. Official web-site – <http://www.ichtj.waw.pl/ichtj/>
- REFERENCES**
1. Alimov, A. S. Prakticheskoe primeneniye elektronnykh uskoriteley [BIIYaF im. D. V. Skobel'tsyna] / A. S. Alimov. – <http://www.knigi.konflib.ru/8bezopasnost/66691>.
 2. Delincée, M. H. / Food Irradiation – Chemical Aspects. European School of Advanced Studies on Nuclear and Ionizing Radiation Technologies. // University of Pavia. – April 2005. – 43 p.
 3. ISO/ASTM №51607; ASTM Standard E1607 “Standard Practice for Use of the Alanine EPR Dosimetry System”.
 4. GOST 31652-2012. Produkty pishchevye. Metod elektron-nogo paramagnitnogo rezonansa dlya vyyavleniya radiatsionno-obrabotannykh produktov, soderzhashchikh kristallicheskiy sakhar. – Vved, 2013-07-01. – Moscow: Standartinform, 2013.
 5. Pivovarov, S. Some peculiarities and complications of ESR dosimetry in high dose / S. Pivovarov, A. Rukhin, T. Seredavina et al. // Techniques for High Dose Dosimetry. IAEA-TECDOC-1070. – 1999. – P. 221–226.
 6. Pivovarov, S.P. Izuchenie svoystv EPR alanina, obluchennogo neytronami / S.P. Pivovarov, S.V. Zhdanov, T.A. Seredavina, i dr. // Tezisy 3-y mezhd. nauch. konf. “Yadernaya i radiatsionnaya fizika”, 4–7 june 2001, Almaty, Kazakhstan. – Almaty, 2001. – P. 448.
 7. Pat. No 13594 RK. Sposob izmereniya dozy neytronного oblucheniya i individual'nyy dozimetr / Pivovarov, S.P., Pavshuk V.A., Kadyrzhanov K.K. i dr., 2011.
 8. Seredavina, T.A. Vozmozhnosti EPR-dozimetricheskogo kontrolya radiatsionnoy obrabotki pishchevoy i meditsinskoy produktsii / T.A. Seredavina, A.B. Rukhin, Zh.T. Mukan i dr. // Tezisy VII mezhd. nauchno-praktich. konf. “Semipalatinskiy ispytatel'nyy poligon. Radiatsionnoe nasledie i perspektivy razvitiya”, 21–23 sept. 2016, Kurchatov, Kazakhstan. – Kurchatov, 2016. – P. 85–86.
 9. T.Seredavina, O.Stakhov, N.Sushkova, A.Nurkasymova. EPR-investigation of irradiated imported foodstuff and parameters of EPR signals. Eurasian Chemical Technological Journal. 2012. V.14, №4. P.343-349.
 10. Seredavina, T.A. Study of Irradiated Food Products and Control by EPR Method in the Kazakhstan Republic / T.A. Seredavina, N.S. Sushkov, A.B. Rukhin, Zh.T. Mukan // Proceedings of 3rd International Conference on Food and Biosystems Engineering. Rhodes, Greece. – 2017. – PP. 260–263.
 11. Rukhin, A.B. Adaptatsiya alaninovoy EPR-dozimetrii k usloviyam tekhnologicheskikh oblucheniye elektronami v IYaF RK / Rukhin, A.B., Seredavina T.A., Sushkova N.S., Mukan Zh.K. // Tezisy dokl. mezhd. nauch. foruma “Yadernaya nauka i tekhnologii”, posvyashch. 60-letiyu Instituta yadernoy fiziki (11-ya mezhd. konf. “Yadernaya i radiatsionnaya fizika”; mezhd. konf. “Yadro-2017” (67-e Soveshchanie po yadernoy spektroskopii i strukture atom-nogo yadra); 8-ya Evraziyskaya konf. “Yadernaya nauka i ee primeneniye”), 12–15 sentyabrya 2017 g., Almaty, Kazakhstan / [Otv. red. E. A. Kenzhin]. – Almaty: RGP IYaF, 2017. – P. 329–330.
 12. ISO/ASTM 51261 - Standard Guide for Selection and Calibration of Dosimetry Systems for Radiation Processing.
 13. Ivannikov A. Signaly v alanine pri alpha- i gamma-oblu-chenii. Radiatsiya i risk. – Obninsk. – 2016. – Vol. 25, – No. 1. – P. 85–93.
 14. Institute of Nuclear Chemistry and Technology, Warsaw, Poland. Official web-site – <http://www.ichtj.waw.pl/ichtj/>

ҚР ЯФИ ИЛУ-10-ДА ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ СӘУЛЕЛЕНУ КЕЗІНДЕГІ ДОЗАЛАРДЫ БАҒАЛАУ ҮШІН АЛАНИНДІ ЭПР-ДОЗИМЕТРИЯНЫҢ МҮМКІНДІКТЕРІ

Ж.Т. Мукан^{1,2)}, Т.А. Середавина¹⁾, Н.С. Сушкова¹⁾, И.В. Данько¹⁾, Н.В. Глушенко¹⁾

¹⁾ Ядролық физика институты, Алматы, Қазақстан

²⁾ Гумилев ат. Еуразия ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан, Қазақстан

Электрондық парамагниттік резонанс (ЭПР) әдісін мен ҚР ЯФИ ИЛУ10 үдеткішінде технологиялық сәулелену кезіндегі дозаларды бақылау үшін аланинді детекторларды қолдану мүмкіндіктеріне эксперименттік зерттеу жүргізілді. Сигналдың тұрақтылығы және бірегей аланинді детекторлардың сезімталдығы зерттелді, олардың стандартты режимдердегі жұмыс қабілеттілігі көрсетілді; тежегіш сәулеленудің аз дозалары аумағында (0,005–1 кГр) дозаларды бағалау үшін гамма-сәулелену бойынша калибрлеу қолданылды. Алынған нәтижелер ҚР ЯФИ ИЛУ10 үдеткішінде аланинді ЭПР - дозиметрияның келешегі бар екендігін растады.

Түйін сөздер: радиациялық технологиялар (РТ), дозиметриялық бақылау, ЭПР-дозиметрия әдісі, аланинді детекторлар, ИЛУ-10 электронды үдеткіші, парамагнитті орталықтар (ПМО).

STUDY OF DOSIMETRY POSSIBILITIES USING ELECTRON PARAMAGNETIC RESONANCE
ON ALANINE FOR ILU-10 ACCELERATOR INP RK

Zh.T. Mukan^{1,2)}, T.A. Seredavina¹⁾, N.S. Sushkova¹⁾, I.V. Danko¹⁾, N.V. Glushchenko¹⁾

¹⁾ *Institute of Nuclear Physics ME RK, Almaty, Kazakhstan*

²⁾ *L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-sultan, Kazakhstan*

Experimental studying possibilities of the electron paramagnetic resonance (EPR) method application for the dose control using alanine detectors in the process of technological irradiations with brake radiation at the accelerator ILU-10 INP RK has been carried out. The EPR signal stability and sensitivity of original alanine detectors have been studied, serviceability in standard modes was shown in the range of small doses of brake irradiation (0,005–1 kGy); for dose estimation the calibration on gamma-irradiation was used. The obtained data confirmed the promise of alanine EPR dosimetry at the ILU-10 accelerator INP RK.

Keywords: *radiation technologies (RT), dosimetric control, EPR-dosimetry method, alanine detectors, electron accelerator ILU-10, paramagnetic centers (PMC).*