

О ВОЗМОЖНОСТИ РЕГИСТРАЦИИ ЭПР-СИГНАЛОВ МАТЕРИАЛОВ-СВИДЕТЕЛЕЙ РАДИАЦИОННЫХ СОБЫТИЙ

Е. А. Румянцев, Е. Ю. Тарасова, К. С. Швецов

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

Введение

В отличие от хронического, аварийное облучение, как правило, характеризуется кратковременностью, дозовая нагрузка на организм неравномерна, а данные, полученные по показаниям аварийных дозиметров, дают сведения о поглощенной дозе только в месте ношения дозиметра. Именно поэтому в целях научного обобщения ситуаций аварийного облучения для установления общих закономерностей лучевого поражения в зависимости от уровня и состава излучения должна быть возможность получения сведений не только о максимальном значении дозы и о поглощенной дозе в месте ношения аварийного дозиметра, но и о распределении её по телу.

Информацию о распределении поглощенной дозы по телу при реализации радиационного события, связанного с внешним облучением в полях фотонного или гамма-нейтронного излучений, возможно получить путем анализа спектров электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) образцов материала-свидетеля.

Конечно, ионизирующее излучение (ИИ) вызывает образование свободных радикалов практически во всех материалах, но далеко не каждый материал может использоваться как свидетель радиационного события. К материалам, используемым в качестве материалов-свидетелей радиационного события выдвигаются достаточно серьезные требования, такие как широкое распространение, легкая доступность, стабильность сигнала ЭПР во времени, линейность зависимости сигнала ЭПР от дозы ИИ и др.

В случае аварийного воздействия наиболее доступными являются образцы хлопкового волокна за счет его широкого распространения в качестве материала для средств индивидуальной защиты (СИЗ) (халат, рубашка, штаны, чепчик) при выполнении радиационно- и ядерно-опасных работ. Использование хлопка в качестве материала СИЗ так же позволяет составить полную картину распределения дозы облучения по телу, измеряя спектры ЭПР образцов хлопка, находившихся в контакте с различными частями тела человека.

Хлопок – очень чистое волокно, состоящее из цепей полисахаридов, составляющих кристаллическую решетку, окруженную аморфной пористой областью. Кристаллическая область имеет ядро целлюлозы, состоящее из длинных линейных макромоле-

кул, созданных за счет соединения нескольких тысяч молекул β -глюкозы. В состав аморфной области входит воск, пектиновые вещества, белки, органические кислоты и оксиды металлов, располагающиеся в порах материала.

Возможность использования хлопкового волокна для ретроспективной оценки дозы аварийного облучения методом ЭПР спектрометрии уже показана несколькими авторами [1, 2]. Некоторые исследования ЭПР [3], основанные и на анализе хлопчатобумажной одежды, и на анализе биологических материалов (зубы или кости) жертв случайного радиационного облучения, показали, что результаты определения дозы по анализу спектров ЭПР различных материалов-свидетелей хорошо согласуются между собой.

Различные внешние факторы могут усложнить анализ облученного хлопка: воздействие солнечного света, остаточное присутствие молекул моющих средств после стирки, содержание воды, степень изношенности одежды (присутствие пыли, жира) и т. д. В частности, водопоглощение, как известно, изменяет механические свойства волокна и воздействует на пористую структуру [2], а воздействие солнечного света в присутствии кислорода приводит к фотодеградациии всех естественных и синтетических текстильных волокон [4].

Естественный (фоновый) сигнал, его амплитуда и форма также специфична для разного типа текстиля, но как показано Viscomi D. он в основном представляет собой одну единственную линию [5]. Радиационно-индуцируемое увеличение сигнала ЭПР обнаруживается уже при дозе 1Гр. Однако на нижнем диапазоне доз аварийного облучения сигнал носит нелинейный характер, что вероятно обусловлено влиянием фонового (собственного) сигнала [2].

Исследования возможности использования хлопка в качестве источника информации об уровнях радиационного воздействия в условиях, реализуемых в РФЯЦ -ВНИИЭФ, были направлены на:

– изучение влияния состояния ткани (новые либо после стирки в спецпрачечной) на фоновый (собственный) сигнал необлученных образцов материала;

– анализ спектров ЭПР хлопкового волокна, вызванных воздействием фотонного излучения на образцы хлопковой ткани различного состояния (новые, после стирки в спецпрачечной);

– оценку диапазона измерения кермы в воздухе.

1. Порядок подготовки, измерения и облучения образцов хлопка

В качестве объектов для изготовления образцов хлопкового волокна были выбраны два лабораторных халата (образец тип А и тип Б), используемых в качестве СИЗ. Халат А – новый халат от завода изготовителя; халат Б – постиранный в спецпрачечной. От каждого халата был взят образец хлопковой ткани (образцы типа А и Б, соответственно) площадью 9 см^2 (размер образца $3 \times 3 \text{ см}$) и массой $220 \text{ мг} \pm 4 \%$. С целью исключения влияния температуры, влажности и света на сигнал ЭПР хлопкового волокна, подготовленные образцы упаковывались в светонепроницаемую бумагу и хранились при температуре в $20 \pm 4 \text{ }^\circ\text{C}$ при относительной влажности $50 \pm 5 \%$.

Образцы хлопкового волокна облучались на установке ЭТАЛОН-3 с источником Co^{60} . При облучении воздушная керма облучения образцов составляла 1, 2, 4, 8, 10, 20, 40, 80, 100, 200, 400 и 1000 Гр.

Анализ спектров ЭПР хлопковых образцов производилось на ЭПР спектрометре Bruker EMX Micro – 9/2. Перед измерением образцы скручивались, для устранения фактора неравномерного геометрического расположения волокон хлопка и помещались в кварцевую трубку для ЭПР измерений диаметром 3 мм. Размер образца площадью 9 см^2 ($3 \times 3 \text{ см}$) подбирался таким образом, что бы при его скручивании он не только максимально плотно помещался в кварцевую трубку, но и занимал в ней длину не менее 1,0 см, что соответствует размеру детектируемой области в резонаторе ЭПР-спектрометра.

Для исключения влияния фединга на амплитуду спектров, снятие спектров ЭПР после облучения осуществлялось через 24 часа ± 15 мин после облучения. Измерение образцов осуществлялось в темноте и при соблюдении значений температуры и влажности, описанных выше.

2. Анализ спектров ЭПР хлопковых образцов

2.1. ЭПР сигнал необлученных образцов

Спектр образцов ЭПР представляет собой зависимость интенсивности поглощения образцом микроволновой энергии частотой $9,86 \text{ ГГц}$ в зависимости от значения напряженности магнитного поля. Спектры ЭПР необлученных образцов А и Б представлены на рис. 1. Как видно из снятых спектров ЭПР хлопкового волокна, ЭПР сигнал, как в случае образца А, так и в случае образца Б, имеет фоновый сигнал – в обоих спектрах можно выделить одну линию, имеющую наибольшую, по сравнению с другими, амплитуду, наблюдаемую при значении магнитного поля в 3510 Гаусс и шириной $\sim 7\text{--}10 \text{ Гаусс}$. Положение фоновой линии в спектре ЭПР хлопкового

волокна хорошо согласуется с литературными данными [5].

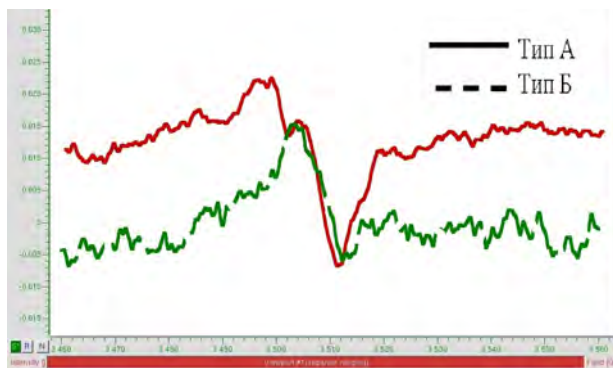


Рис. 1. Спектр ЭПР необлученных образцов А и Б хлопкового волокна

По анализу соотношения сигнал/шум можно сказать, что фоновый сигнал ЭПР хлопкового волокна у обоих образцов четко отличим от шума.

Среди шумов также можно определить значимые структурные отличия между сигналами, позволяющие оценить влияние молекул моющих средств либо специальных покрытий хлопкового волокна, нанесенного предприятием-изготовителем халатов. Так, из рис. 1 видно, что для образца А в области напряженности магнитного поля 3500 Гаусс характерно наличие единичного сигнала (непосредственно перед пиком обнаруживаемым при магнитном поле 3510 Гаусс), не характерного для образца Б. Такое различие вероятно обусловлено наличием крахмала, нанесенного на новый халат.

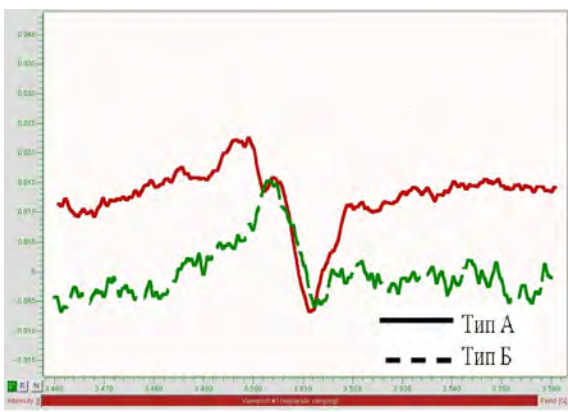
2.2. ЭПР сигнал облученных образцов

2.2.1. Структурные особенности спектров ЭПР в зависимости от дозы облучения

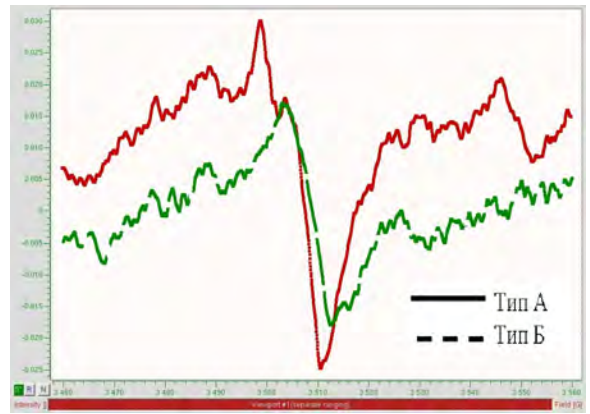
Спектры облученных образцов А и Б, измеренные через 24 часа ± 15 мин после облучения различными дозами показаны на рис. 2.

Как видно из спектров приведенных на рис. 2, спектр ЭПР облученных хлопковых образцов имеет сложную структуру, в которой можно четко выделить основной (центральный) пик, обнаруживаемый при значении магнитного поля в 3510 Гаусс .

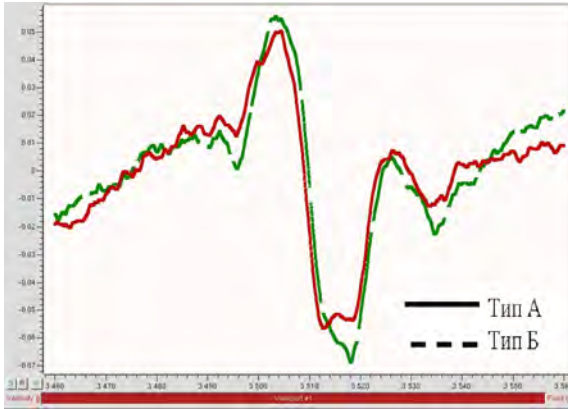
Анализируя спектры облученных образцов хлопкового волокна типа А и Б, можно видеть, что для облученных образцов хлопкового волокна типа А, как и в случае необлученных образцов типа А, характерно наличие дополнительного пика в области напряженности магнитного поля 3500 Гаусс , отсутствующего у образцов типа Б. Амплитуда данного пика, как можно видеть из рис. 2 и рис. 3, также увеличивается при увеличении дозы облучения образцов. После достижения дозы облучения образцов в 200 Гр из-за значительного роста основного пика дополнительный пик становится мало различимым и уже при облучении в дозе 400 Гр – входит в состав основного пика.



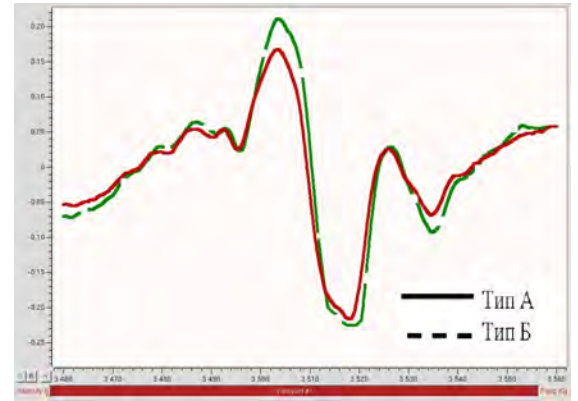
а



б



в



г

Рис. 2. Спектры облученных образцов А и Б, измеренные через 24 часа ± 15 мин после облучения различными дозами: а – 1Гр; б – 10Гр; в – 100Гр; г – 1000Гр

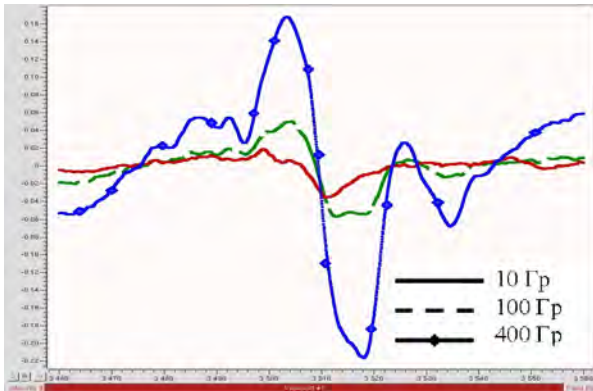


Рис. 3. Изменение структуры спектров ЭПР хлопкового волокна в зависимости от дозы облучения (10, 100, 400 Гр) для образцов типа А

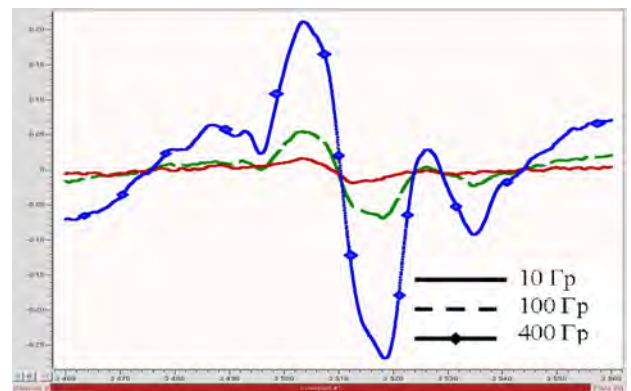


Рис. 4. Изменение структуры спектров ЭПР хлопкового волокна в зависимости от дозы облучения (10, 100, 400 Гр) для образцов типа Б

По имеющимся литературным данным спектр облученного хлопкового волокна (при облучении поглощенной дозой 100Гр) представляет собой триплетную структуру, у которой линии поглощения расположены при значениях магнитного поля в ~ 3470 ; 3510 и 3535 Гаусс [5]. При анализе спектров на рис. 2 можно выделить так же 3 линии при значениях магнитного поля в 3485 , 3510 и 3535 , смещение первого пика вероятно обусловлено особенностями используемого текстиля.

Изменение структуры спектров ЭПР хлопкового волокна в зависимости от дозы облучения (10, 100, 400 Гр) для образцов типа Б показаны на рис. 4

Как видно из рис. 3–4, при увеличении дозы облучения увеличивается амплитуда пиков при значениях магнитного поля в 3485 , 3510 и 3535 Гаусс и увеличивается соотношение сигнал-шум.

2.2.2. Зависимость амплитуды пика образцов хлопкового волокна от дозы облучения

Амплитуда основного пика, находящегося при напряженности магнитного поля в 3510 Гаусс, для образцов А и Б, как видно из рис. 3–4, увеличивается в зависимости от дозы облучения. Различие в амплитуде основного пика для образцов А и Б не превышает 20 % во всем диапазоне доз облучения (за исключением амплитуды при дозе в 1 Гр – 25 %) и не зависят от типа образца. Данные результаты говорят о том, что возможное наличие молекул моющих средств на постиранных образцах, либо специальных покрытий, нанесенных предприятием-изготовителем на новых халатах, не вносит существенного вклада в амплитуду основного пика хлопкового волокна, хотя и влияет на общую картину спектра и на наличие отдельных пиков.

Зависимость средней амплитуды пиков хлопковых образцов типа А и Б от дозы облучения в диапазоне воздушной кермы от 0 до 1000 Гр приведена на рис. 5–6.

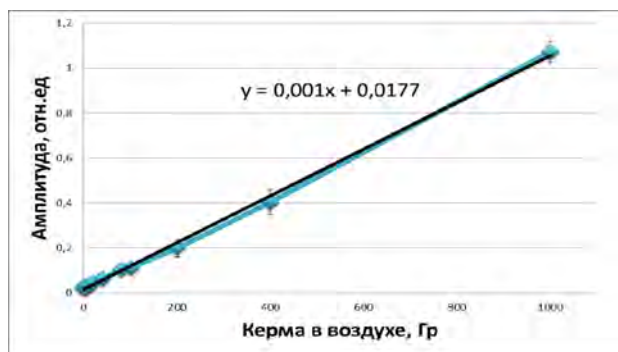


Рис. 5. Зависимость средней амплитуды пика хлопковых образцов типа А и Б от дозы облучения в диапазоне доз от 0 до 1000 Гр

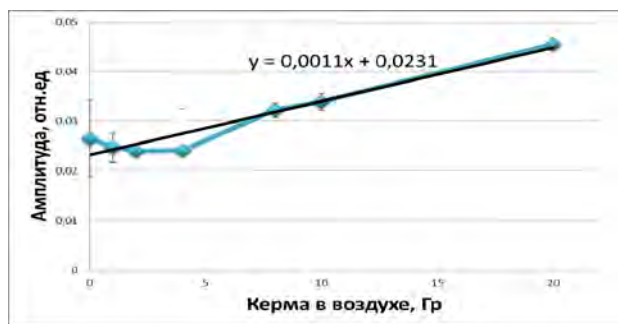


Рис. 6. Зависимость средней амплитуды пика хлопковых образцов типа А и Б от дозы облучения в диапазоне от 0 до 20 Гр

Из рис. 6 видно, что зависимость средней амплитуды сигнала ЭПР хлопковых образцов от воздушной кермы в диапазоне доз от 1 до 8-10 Гр имеет не линейную зависимость и не отличается от фоновых значений, что подтверждает данные исследования Barthe J. [2]. Наиболее отчетливо это видно при рассмотрении зависимости амплитуды пика

от воздушной кермы для каждого типа образцов по отдельности (рис. 7).

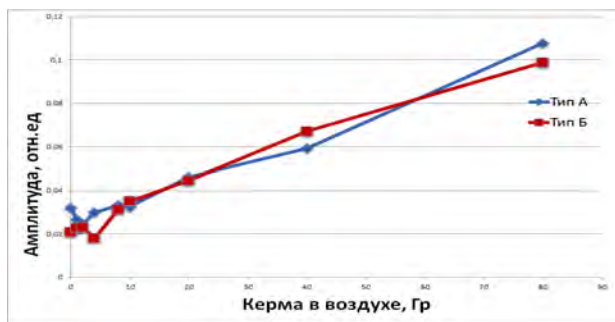


Рис. 7. Зависимость амплитуды пика хлопковых образцов типа А и Б от дозы облучения в диапазоне от 0 до 80 Гр

Однако, при увеличении дозы облучения хлопковых образцов выше 10 Гр, как видно из рис. 7, зависимость средней амплитуды пика хлопковых образцов типа А и Б от дозы облучения имеет линейный характер, что позволяет использовать хлопок в качестве образца свидетеля радиационных событий в диапазоне доз от 10 до 1000 Гр.

Заключение

Анализ полученных спектров ЭПР хлопковых образцов показал влияние стирки, а также специальных покрытий, нанесенных предприятием-изготовителем на фоновый (собственный) сигнал: экспериментально показано различие спектров ЭПР новых образцов ткани и спектров ЭПР ткани после стирки. Различие в спектрах ЭПР возможно объяснить наличием в образцах остаточных молекул моющих средств и наличием «крахмала» у новых образцов.

Экспериментально показано, что воздействие фотонного излучения на образцы хлопковой ткани приводит к изменению спектра ЭПР, как у новых, так и у постиранных образцов. Для обоих видов облученных образцов наблюдается значительное увеличение амплитуды линии спектра ЭПР, обнаруживаемой при значениях напряженности магнитного поля в 3510 Гаусс.

В результате исследования показано, что различия в амплитуде основного пика для образцов типа А и Б не превышают 20 % во всем диапазоне доз облучения (за исключением амплитуды при дозе в 1 Гр – 25 %) и не зависят от типа образца. Данные результаты говорят о том, что возможное наличие молекул моющих средств на постиранных образцах либо специальных покрытий, нанесенных предприятием-изготовителем на новых халатах, не вносит существенного вклада в амплитуду основного пика хлопкового волокна, хотя и влияет на общую картину спектра и на наличие отдельных пиков.

Показанная экспериментально линейная зависимость средней амплитуды линии спектра ЭПР хлопковых образцов А и Б от воздушной кермы в диапазоне доз от 10 до 1000 Гр может позволить

производить оценку воздействия фотонного излучения на персонал в случае радиационного события.

Литература

1. Kamenopoulou V., Barthe J., Hickman C., Portal G. "Accidental gamma irradiation dosimetry using clothing". *Radiat Prot Dosim* 1986; № 17; p. 185–188.

2. Barthe J., Kamenopoulou V., Cattoire B., Portal G. "Dose evaluation from textile fibers: a post-determination of initial ESR signal". *Appl Radiat Isot* 1989; № 40; p. 1029–1083.

3. Kleshenko E. D. "Reconstruction of personal doses and its distribution on the body surface of persons

suffered by accidental irradiation by the EPR method". 2000. Proceedings of the 10th International Congress of the International Radiation Association. Hiroshima, Available from: www2000.irpa.net/pub/pr/index.html.

4. Millington K. R., Kirschenbaum L.J. "Detection of hydroxyl radicals in photoirradiated wool, cotton, nylon and polyester fabrics using a fluorescent probe". *Color Technol*. 2002; № 118; p. 6–14

5. Viscomi D., Angelis C., Fattibene P "Cotton as fortuitous dosimeter in radiological emergency An EPR preliminary study". Department of Technology and Health. 2011. № 46; p. 978–983