

## Разработка автоматической системы индивидуального дозиметрического контроля и высокотехнологичных дозиметров

А.И. Сюрдо<sup>1</sup>, И.И. Мильман<sup>1</sup>, Р.М. Абашев<sup>1</sup>, В.Ю. Торопов<sup>2</sup>, Д.Г. Келлерман<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Институт физики металлов имени М.Н. Михеева УрО РАН, г. Екатеринбург

<sup>2</sup>АО «Уральский электромеханический завод» (АО УЭМЗ), г. Екатеринбург

<sup>3</sup>Институт химии твердого тела УрО РАН, г. Екатеринбург

Совместно с АО УЭМЗ разработан новый наукоемкий продукт – автоматизированная система индивидуального дозиметрического контроля КОРОС-333 [1], применение которой возможно не только в атомной отрасли, но и в медицине, нефте- и газодобыче, при решении некоторых задач МЧС и МО. Система успешно прошла госиспытания, на которых было подтверждено ее превосходство по совокупности метрологических и технико-эксплуатационных параметров над зарубежными аналогами, и она внесена в госреестр средств измерений под № 87141-22. Для считывания дозиметрической информации в КОРОС-333 впервые в России использован эффект оптически стимулированной люминесценции (ОСЛ), что позволяет в 5-10 раз увеличить скорость считывания в сравнении с подобными термолюминесцентными системами, снизить в несколько раз энергопотребление и материалоемкость. Система КОРОС-333 состоит из ОСЛ-считывателя со встроенным промышленным компьютером (рис. 1а), комплекта ОСЛ-дозиметров, специализированного программного обеспечения и стирающего устройства. В комплект входят три типа разработанных ОСЛ-дозиметров БД-3Т, БД-3Х и БД-3К соответственно для измерения индивидуальных эквивалентов доз облучения (ИЭД) всего тела  $H_p(10)$ , хрусталика глаза  $H_p(3)$  и кожных покровов  $H_p(0.07)$  (рис. 1б, поз. 1-3).

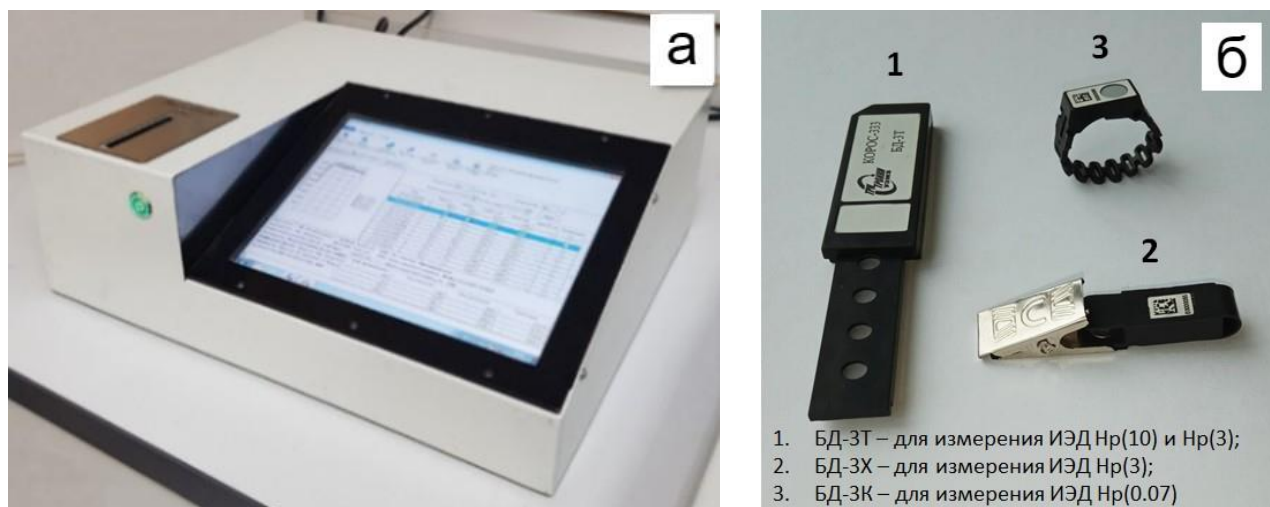


Рисунок - 1 ОСЛ-считыватель системы КОРОС-333 (а) и три типа дозиметров (б)

Для изготовления ОСЛ-детекторов, используемых в дозиметрах БД-3Т и БД-3Х для измерения  $H_p(10)$  и  $H_p(3)$ , разработан новый способ группового выращивания монокристаллических стержней из анионодефицитного корунда (Патент РФ на изобретение №2792634, опубликовано 22.03.2023). Он отличается тем, что не менее 90% выращенных стержней может быть использовано в производстве ОСЛ-детекторов. Более того, у таких детекторов отсутствует стадия медленного разгорания ОСЛ, что существенно влияет на их точностные характеристики. Для системы КОРОС-333 с дозиметрами БД-3Т и БД-3Х подтверждена возможность измерения с требуемыми метрологическими характеристиками в смешанных полях бета- и фотонных ионизирующих излучений, а также в широких дозовых и энергетических диапазонах:

- диапазон измерений ИЭД  $H_p(10)$  –  $10^{-5}$  –  $10$  Зв;
- диапазон измерений ИЭД  $H_p(3)$  в полях фотонного и бета-излучений –  $10^{-5}$  –  $10$  Зв;

- диапазон энергий регистрируемого фотонного излучения – 0,015 – 10,0 МэВ;
- диапазон энергий регистрируемого бета-излучения – 0,8 – 2,2 МэВ.

Для кожного дозиметра БД-3К создан детектор с тонким чувствительным слоем, массовая толщина которого равна 5 мг/см<sup>2</sup>, что полностью соответствует Российским нормам радиационной безопасности НРБ-99/2009 в отличие, например, от зарубежных и отечественных аналогов. При создании детектора использован новый подход. Он основан на специальной лазерной обработке поверхности детектора, изготовленного из нечувствительного к облучению монокристаллического корунда стехиометрического состава (Патент РФ на изобретение № 2747599, опубликовано 11.05.2021). Обнаружено, что измененная обработкой структура поверхности детектора в области воздействия лазерного импульса сильно неоднородна. В ее центре находится кратер, а на его периферии – микрокристаллическая структура. Именно она является ОСЛ-активной [2]. Получено, что энергетические и дозовые характеристики дозиметра БД-3К в составе КОРОС-333 удовлетворяют как Российским, так и зарубежным нормам радиационной безопасности. Более того, он обладает рекордными характеристиками: нижний предел диапазона измеряемой дозы Нр(0.07) составляет 100 мкЗв, а верхний – 10 Зв при энергиях бета- и фотонного излучения, соответственно, 60-2000 кэВ и 15-3000 кэВ.

В качестве перспективных материалов для люминесцентной дозиметрии, включая нейтронную, исследованы чистые и допированные литий-магниевые бораты, которые могут быть обогащены изотопами <sup>6</sup>Li и <sup>10</sup>B, что позволит существенно повысить отклик к нейтронному облучению. Работа включала в себя подбор оптимальных условий синтеза, структурную аттестацию, измерение оптически и термически стимулированной люминесценции, фото- и рентгенолюминесценции, квантово-химические расчеты, а также исследование дозиметрических свойств [3, 4]. Среди результатов можно выделить следующие:

- исследованы условия получения чистых Li<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>, MgB<sub>4</sub>O<sub>7</sub> и LiMgBO<sub>3</sub> в стеклообразной и кристаллической форме;
- показано, что введение в указанные матрицы редкоземельных и 3d- элементов позволяет получить материалы с более высоким люминесцентным откликом;
- впервые обнаружено, что добавки алюминия усиливают собственную термолюминесценцию стеклообразного тетрабората лития.

Частично решена крайне сложная задача, связанная с определением Нр(10) в смешанном гамма-нейтронном поле. Существующие подходы, базирующиеся на раздельной регистрации доз термолюминесцентными детекторами на основе <sup>6</sup>LiF и <sup>7</sup>LiF в смешанных гамма-нейтронных полях, приводят к значительным ошибкам в определении Нр(10), особенно нейтронного компонента. Поэтому нами было предложено использовать для более точного определения Нр(10) в смешанных полях органические детекторные материалы, а именно, фторопласты Ф4 и Ф40, а дозиметрическую информацию с них считывать с помощью эффекта ЭПР (Патент РФ на изобретение №2792633, опубликовано 22.03.2023).

1. Автоматизированная система индивидуального дозиметрического контроля КОРОС-333 / А.И. Сурдо, Р.М. Абашев, В.С. Красноперов, И.И. Мильман, Е.В. Моисейкин, А.И. Бояринцев // Дефектоскопия. - 2023. - V. 59. - P. 70-72.
2. Development of Luminescent Skin Dosimeters for Automatic System of Individual Dosimetric Control / A. I. Surdo, A. M. Voloshin, R. M. Abashev, V. S. Krasnoperov, I. I. Milman, E. V. Moiseikin // Russian journal of nondestructive testing. - 2022. - V. 58. - P. 752-759.
3. The role of defects in thermoluminescence of pure and rare-earth-doped magnesium tetraborate phosphor / M. O. Kalinkin, D. A. Akulov, R. M. Abashev, A. I. Surdo, M. V. Kuznetsov, D. G. Kellerman // Journal of Luminescence. - 2023. - V. 263. - P. 120119-120126.
4. Li<sub>9</sub>Mg<sub>3</sub>[PO<sub>4</sub>]<sub>4</sub>F<sub>3</sub> fluorophosphate as a new thermoluminescent material: Experimental and theoretical study / D. A. Akulov, N. I. Medvedeva, M. O. Kalinkin, V. G. Zubkov, R. M. Abashev, A. I. Surdo, E. V. Zabolotskaya, D. G. Kellerman // Optical Materials. - 2023. - V. 145. - P. 114418-114427.