

## Результаты практического использования термолюминесцентных детекторов на основе LiF-Mg, Cu, P в дозиметрии $\gamma$ -, $\beta$ -, n-излучений

А.Г. Алексеев

*ГНЦ РФ Институт физики высоких энергий, Протвино, Россия*

Н.А. Карпов

*МГУ, Москва, Россия*

Введение в действие новых Норм радиационной безопасности (НРБ-99) в части проведения индивидуального дозиметрического контроля (ИДК) персонала и населения предполагает наличие соответствующих детекторов (дозиметров) и анализаторов для их измерения. Однако реальная ситуация в ИДК длительное время была такова, что проводился контроль только доз внешнего фотонного излучения для профессионалов. Основная причина состоит в том, что российский рынок не мог предложить отечественные разработки достаточно чувствительных детекторов (дозиметров) для проведения ИДК внешнего  $\gamma$ -,  $\beta$ - и n-излучений. Ситуация в последнее время существенно изменилась. В России можно приобрести термолюминесцентные детекторы отечественного производства на основе кристаллофосфора LiF-Mg,Cu,P (НТЦ “Практика” г. Москва):

- ТЛД-1011 – для дозиметрии квантового излучения;
- ТЛД1011Г – для дозиметрии слабопроникающего излучения ( $\beta$ -излучение, мягкое квантовое излучение);
- ТЛД-7011 и ТЛД-6011 – для дозиметрии нейтронов.

Основное преимущество этих детекторов – их высокая дозная чувствительность и близкое значение эффективного атомного номера материала к эффективному атомному номеру мягкой биологической ткани человека. В частности чувствительность детектора ТЛД-1011 к фотонному излучению в 10–20 раз выше, чем чувствительность детекторов ДТГ-4 (LiF-Mg,Ti, Ангарск, Россия) и TLD-100 (LiF-Mg,Ti, BICRON, USA)[1]. Поэтому использование таких детекторов в ИДК персонала и населения будет отвечать требованиям НРБ-99.

Аналоги детекторов на основе LiF-Mg,Cu,P уже сравнительно давно используются в практической дозиметрии многих зарубежных стран. Поэтому для нас представлял интерес провести испытания этих детекторов в реальном ИДК персонала и населения.

**Дозиметрия фотонного излучения.** Для проведения ИДК фотонного излучения использовался ТЛД-1011 в комплекте с различными дозиметрами и анализаторами (прибор для измерения отклика ТЛД). Следует отметить также еще одну особенность детекторов ТЛД-1011 в дозиметрии фотонного излучения – не большая ( $\pm 10\%$ ) энергетическая зависимость отклика детектора от энергии квантового излучения (для  $E_{\gamma} \geq 20$  кэВ), что позволяет использовать его без дополнительных компенсирующих фильтров (в случае использования детекторов ДТГ-4 и TLD-100 необходимы дополнительные фильтры для выравнивания энергетической зависимости чувствительности). ИДК персонала проводилось совместно МГУ и ИФВЭ на Калининской АЭС и совместно с МосНПО “Радон” для сотрудников НПО. При этом предварительные исследования показали полное соответствие заявленных технических параметров детекторов ТЛД-1011. При проведении ИДК параллельно использовались дозиметры с детектором ДТГ-4.

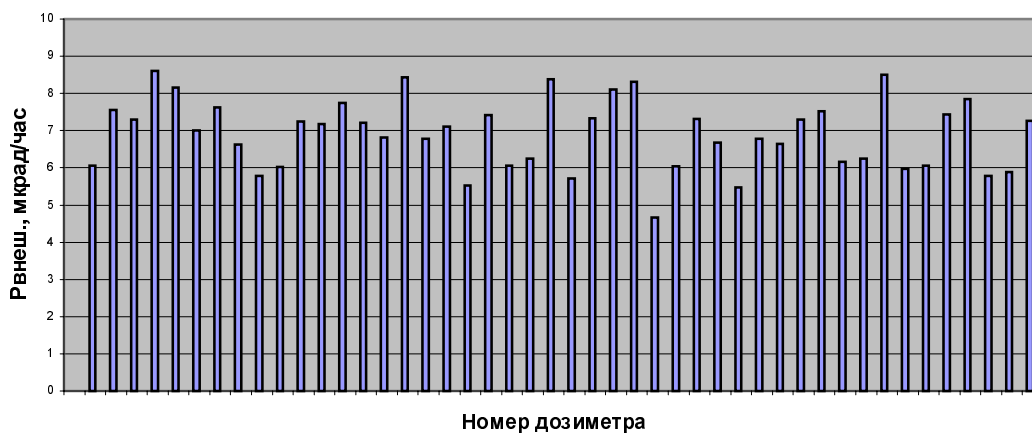
В результате испытаний, проведенных в 1997–2000 гг., было установлено, что благодаря своим техническим параметрам погрешность измерения операционных величин в ИДК с использованием ТЛД-1011 снижается до 10–15%, а нижний порог регистрируемых доз снижается в 20–50 раз. Еще более надежные результаты можно получить, используя специально разработанную программу для анализа отклика детектора [2]. В этом случае детектор может быть использован для проведения оперативного радиационного контроля при экспонировании в течение нескольких часов. Кроме этого, совместно с НПО “Радон” был разработан аварийный дозиметр для определения не только величины дозы аварийного облучения, но и даты однократного аварийного облучения [3]. Это особенно важно для определения причины такого облучения.

Для проведения ИДК населения в течение 1997–2000 гг. проводились совместные исследования с ГНЦ РФ Институтом Биофизики. Предварительные работы показали полное соответствие эксплуатационных характеристик ТЛД-1011 для проведения ИДК населения. В 2000 г. было проведено две серии испытаний дозиметров с ТЛД-1011 для населения г. Северск (по 100 респондентов в каждой серии). Выборка критических групп осуществлялась Институтом биофизики. Было выбрано 4 группы от 10 до 33 человек в каждой. Период экспонирования дозиметров составлял 1 месяц. В результате проведенных исследований было пока-

зано, что погрешность измерений индивидуальной дозы ( $H_p(10)$ ) каждого респондента не превышает 5%, а вариация величины дозы внутри групп не превышает 10%.

На рис.1 приведены результаты измерения мощности поглощенной дозы внешнего излучения для 46 человек из выбранных критических групп населения (средняя мощность поглощенной дозы по результатам многолетних измерений в г. Северск составляет 7 мкрад/час). Таким образом, было показано, что дозиметры с ТЛД-1011 вполне пригодны для использования в ИДК населения.

**Рис.1 Результаты измерения мощности дозы внешнего излучения для некоторых критических групп из населения**



Дозиметры с ТЛД-1011 участвовали в сличении индивидуальных дозиметров фотонного излучения (Comrag 98) [4]. В сличении принимали участие 17 дозиметрических систем от 16 предприятий Минатома. Сличение подтвердило высокие технические характеристики детекторов ТЛД-1011. Детектор прошел сертификацию и занесен в Государственный реестр средств измерений.

**Дозиметрия слабопроникающего излучения** ( $\beta$ -излучение, фотоны с энергиями ниже 20 кэВ). Согласно НРБ-99 ИДК слабопроникающего излучения (в дальнейшем  $\beta$ -излучение) предполагает измерение эквивалентной дозы внешнего облучения в базальном слое кожи толщиной 5 мг/см<sup>2</sup> под покровным слоем толщиной 5 мг/см<sup>2</sup>, для ладоней – 40 мг/см<sup>2</sup> и для хрусталика глаза – 300 мг/см<sup>2</sup>. Следовательно, детектор для измерения должен быть тканеэквивалентным и иметь толщину 5 мг/см<sup>2</sup> (обычный детектор для дозиметрии фотонов имеет толщину 200–400 мг/см<sup>2</sup>). При этом минимально определяемая эквивалентная доза должна составлять не менее 30 мкЗв. Детектор ТЛД-1011Т по своим характеристикам вполне соответствует требованиям НРБ-99. Детектор представляет собой алюминиевую пластинку размером 5x5 мм на которую нанесен слой кристаллофосфора LiF-Mg,Cu,P толщиной 5 мг/см<sup>2</sup>.

Детектор обладает *следующими характеристиками*:

1. Измеряемая величина-эквивалентная доза бета излучения, электронов и низкоэнергетических фотонов в миллизивертах (мЗв) в месте ношения дозиметра с детектором ТЛД-1011(Т) на регламентируемой глубине от поверхности.
2. Диапазон измерения эквивалентной дозы излучения(область линейной зависимости) 0,03мЗв ÷ 30000 мЗв.
3. Независимость от мощности эквивалентной дозы до 20000 Зв/сек.
4. Энергетический диапазон излучений 5кэВ– 10мэВ.
5. Энергетическая зависимость чувствительности для фотонов и электронов с энергией больше 15 кэВ –  $\pm 15\%$ , в диапазоне 5–15 кэВ –  $\pm 20\%$ .
6. Основная погрешность измерения с доверительной вероятностью 0,95 не хуже  $\pm 5\%$ .
7. Анизотропия для фотонного излучения с энергией меньше 60 кэВ, электронного и бета-излучения составляет  $\pm 20\%$  (в телесном угле 1,8л ).
8. Изменения показаний детектора за 12 месяцев хранения в нормальных условиях после облучения не более 1%.
9. Спектр свечения (максимум) 380 нм.
10. Температура дозиметрического пика 200 °С.

Испытания детекторов ТЛД-1011Т проводилось совместно с Институтом Биофизики и МосНПО “Радон”. При этом исследования проводились как для детекторов так и для дозиметров ИДК за регламентированными слоями. На рис. 2 приведена дозная зависимость отклика детектора ТЛД-1011Т в поле  $\beta$ -источника  $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$  для различных дозиметрических пиков (основной дозиметрический пик – 4).

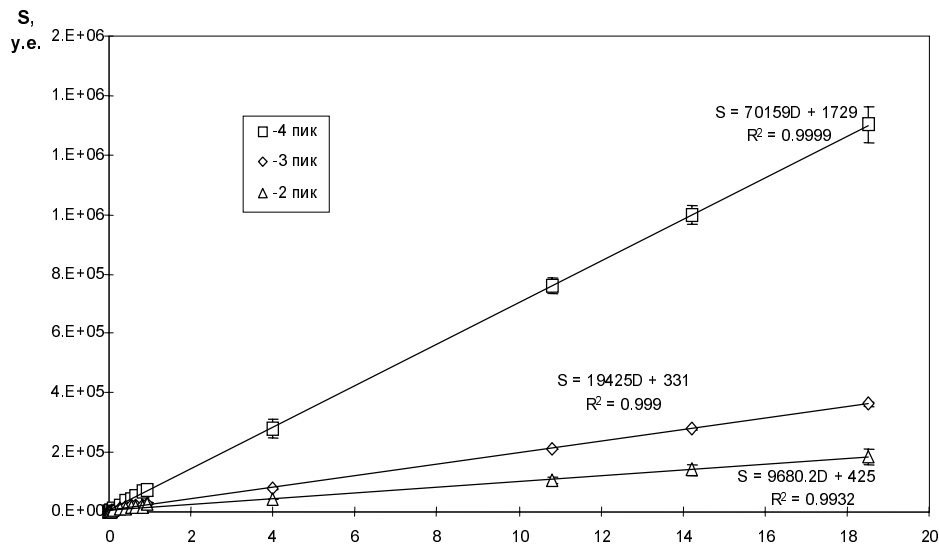


Рис. 2. Дозная зависимость отклика детектора (S) для ТЛД-1011Т.

Результаты измерений воспроизводимости отклика детекторов от количества измерений показали, что погрешность не превышает 7% за 100 циклов. Показана возможность использования многослойного (сендвич-детектора) для оценки спектрального состава  $\beta$ -излучения. На рис. 3 приведены расчетные и экспериментальные данные распределения поглощенной дозы ( $P(x)$ ) в многослойном детекторе по глубине ( $x/R(E_0)$ ) для различных углов облучения ( $\Theta$ ) [5].

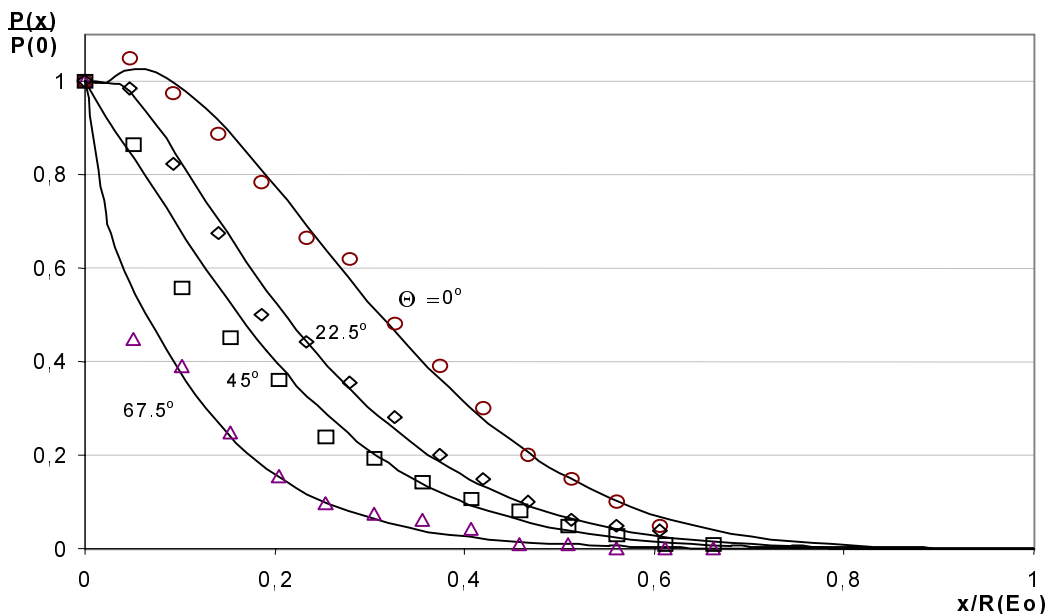


Рис. 3. Изменение относительной поглощенной дозы по глубине многослойного дозиметра на основе детектора ТЛД-1011Т в поле  $\beta$ -излучения  $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$  для различных углов облучения. Сплошными линиями показаны расчетные зависимости ослабления.

В результате проведенных исследований было показано, что детекторы ТЛД-1011Т могут быть использованы в практическом ИДК слабопроникающих излучений. В настоящее время проводится Государственная аттестация детектора и дозиметров на его основе.

**Дозиметрия нейтронного излучения.** Для ИДК нейтронного излучения используются дозиметры, в состав которых входят детекторы на основе  ${}^7\text{LiF-Mg,Cu,P}$  (ТЛД-7011) и  ${}^6\text{LiF-Mg,Cu,P}$  (ТЛД-6011) [1]. В 2000 г. прошел сертификацию и занесен в государственный реестр средств измерений индивидуальный нейтронный альбедный дозиметр ДВН-А-01 с детекторами тлд-7011 и ТЛД-6011.

Некоторые *технические характеристики дозиметра нейтронов* приведены ниже:

- Дозиметр предназначен для измерения индивидуального дозового эквивалента нейтронного излучения.
- Порог регистрации составляет не более 0,05 мЗв.
- Линейность в диапазоне 0,05 мЗв – 1 Зв с погрешностью не более 9%.
- Воспроизводимость показаний – не более 7%.
- Анизотропия чувствительности для Pu-Be источника в угле от 0° до 60° – не более 30%.
- Энергетическая зависимость показаний для выборки нейтронных спектров – 50%.

С использованием дозиметров ДВН-А-01 было проведено несколько серий испытаний для персонала Калининской АЭС. В частности, при проведении ИДК персонала, проводящего работы с нейтронными источниками (цех ТАИ) было показано, что вклад нейтронов в индивидуальный дозовый эквивалент может составлять до 90% от суммарной дозы (Табл. 1).

**Таблица 1.** Результаты определения индивидуального дозового эквивалента для персонала Калининской АЭС.

№	Индивидуальный дозовый эквивалент	
	Гамма (сЗв)	Нейтроны (сЗВ)
1	0.085	0.25
2	0.072	0.23
3	0.075	0.25
4	0.073	0.23
5	0.061	0.27
6	0.11	0.404
Фон на КАЭС	0.03	-

Кроме этого, с использованием детекторов ТЛД-7011 и ТЛД-6011 был проведен большой объем измерений для условий смешанного излучения ускорителя в ИФВЭ.

Приведенные выше результаты использования новых высокочувствительных детекторов позволяют решить возникшие проблемы в ИДК персонала и населения.

## Литература

1. Алексеев А.Г., Карпов Н.А. Возможности ТЛД на основе кристаллофосфора LiF-Mg,Cu,P для дозиметрии нейтронов, XVI Сов. по ускорителям заряженных частиц, ГНЦ РФ ИФВЭ, Протвино, 20-22 окт.1998. – Сб. докл., т.2, с.172-174, 1999.
2. Агриненко С.Д., Алексеев Г.А., Бурлака И.А., Карпов Н.А. – Метод анализа кривой термовысвечивания для линейного нагрева: Препринт ИФВЭ 99-61. – Протвино, 1999. 12 с.
3. Karпов N.A., Agrinenko S.D., Dushkina O.V., Burlaka I.A. – Application of accompany detectors for determination of elapsed since accidental exposure time: Rad. Prot. Dosimetry, 2000 (in publ.).
4. Алексеев А.Г., Масляев П.Ф., Лебедев В.Н., Санников А.В. и др. – Сличение индивидуальных дозиметров фотонного излучения (COMPAR-98): Препринт ИФВЭ 2000-1. – Протвино, 2000. 12 с.
5. Коренков И.П., Агриненко С.Д., Душкина О.В., Бурлака И.А., Карпов Н.А. – Разработка и испытание кожного дозиметра на основе LiF-Mg,Cu,P: Отчет о научно-исследовательской работе. Тема 35-302: МосНПО “РАДОН” – 1999. 26 с.