

УДК 621.039.76

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДОЗИМЕТРОВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

*Соболев А.И., Польский О.Г., Шанин О.Б., Вербова Л.Ф. (МосНПО «Радон»),
Коренков И.П., Воронин К.В. (РМАПО)*

Возрастающее внимание к экологическим проблемам, в частности радиационным, требует проведения радиоэкологического мониторинга природной среды. В этих целях используют дозиметры интегрального типа для регистрации мощности экспозиционной дозы. Дозиметры накапливающего типа, специально предназначенные для оценки радиационной обстановки, в нашей стране серийно не выпускаются, поэтому на практике иногда применяют термолюминесцентные дозиметры (ТЛД) индивидуального контроля, что требует четких рекомендаций по их использованию.

Мощность экспозиционной дозы от внешних источников β -, γ -излучения измеряется дозиметрами типа ИРФ-02 (измеритель радиационного фона), работающими в непрерывном режиме, а также СРП-68(88) и ДРГ-01Т [1—3]. Все эти дозиметры не обладают изотропной чувствительностью, необходимой для мониторинга, и градуируются обычно в геометрии, отличающейся от условий эксплуатации, что приводит к погрешностям, которые почти невозможно предсказать.

Учитывая изложенное, была сделана попытка проведения сравнительной оценки показаний различного типа ТЛД, а также радиометров типа ИРФ-02 и ДРГ-01Т.

Сравнительная оценка проводилась в Москве и Сергиевом Посаде Московской области на пункте захоронения радиоактивных отходов (ПЗРО) МосНПО «Радон». Сравнивали результаты одновременной регистрации радиационного фона и эталонных источников различной мощности термолюминесцентными дозиметрами двух типов для выявления качественных и количественных различий между ними, а также одновременной регистрации радиационного фона приборами ИРФ, ДРГ и ТЛД для оценки различий между средними по контролируемой территории.

Приборы и методика измерений. Для проведения эксперимента выбраны два дозиметрических комплекта с ТЛД, система ИРФ и ДРГ-01 (табл. 1).

Т а б л и ц а 1. Характеристики применяемых приборов

Показатель	Термолюминесцентный дозиметр		ДРГ-01Т	ИРФ
	Тип 1 ДТК-2	Тип 2 ДТУ-02		
Изготовитель	СКБ «Эстония», Таллинн	КБ мединститута, Рига	ЦНПО «Ленинец», Санкт-Петербург	НИЦ СНИИП, Москва
Свидетельство госаттестации	ВНИИМ им. Д.И. Менделеева № 105/92 от 15.09.92		Серийный	
Диапазон измерения	5—1000 мР	5—2000 мР	0,01—10 мР/ч	1—1000 мкР/ч
Детектор	ТДК-400 (LiF)	ТЛД-500К (Al ₂ O ₃)	СБМ-20 (Cu)	БДМГ-08Р
Основная погрешность	30% (5—50 мР), 15% (>50 мР)	20%	15—30%	25%

Первая серия экспериментов по регистрации радиационного фона в различных точках Москвы была проведена весной 1993 г. с помощью ТЛД типов 1 и 2, которые попарно были установлены в 50 из 132 пунктов режимной сети наблюдений МосНПО «Радон», расположенных равномерно по городской территории. Дозиметры устанавливали на высоте 1,5 м от поверхности земли на отдельных деревьях с маскировкой от посторонних лиц. Экспозиция составила 3 месяца. Одновременно такое же число ТЛД было установлено в зоне строгого режима ПЗРО с теми же условиями установки, что и в Москве.

ТЛД облучали эталонными источниками ^{60}Co на образцовой гамма-установке базовой поверочной лаборатории Московского НИИ диагностики и хирургии.

Вторая серия экспериментов была проведена на стационарных пунктах установки ИРФ в 20 точках Москвы. В феврале 1993 г. там были установлены ТЛД, экспозиция которых продолжалась до августа месяца. В течение этого времени неоднократно проводились также одновременные замеры радиационного фона приборами ИРФ и ДРГ.

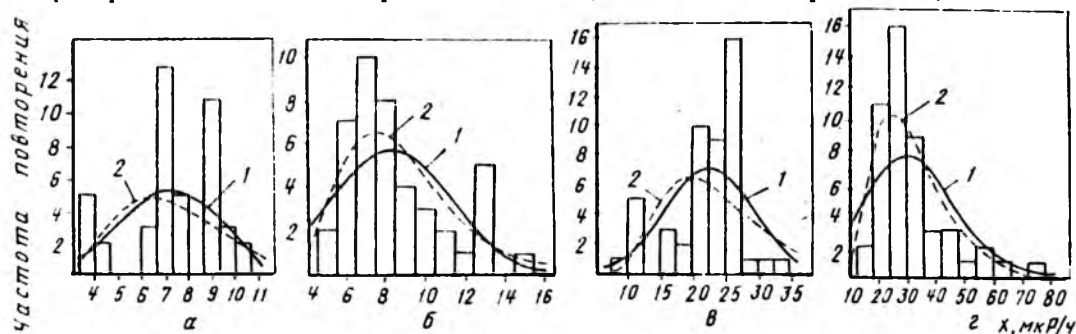
Анализ и обсуждение результатов. Анализировались статистические ряды показаний ТЛД двух типов, полученных по Москве и зоне строгого режима ПЗРО Сергиева Посада. В табл. 2 приведены параметры распределения зарегистрированной дозы для каждого типа ТЛД.

Т а б л и ц а 2. Параметры распределения мощности дозы облучения, мкР/ч

Характеристика	Москва		Сергиев Посад	
	ДТК-2	ДТУ-02	ДТК-2	ДТУ-02
	тип 1	тип 2	тип 1	тип 2
Среднее	8,28	7,34	29,63	22,33
Среднеквадратичное отклонение	2,99	2,18	14,99	6,68
Асимметрии	0,69	-0,63	1,46	-0,69
Экссесс	2,73	2,72	4,95	2,92
Минимальное значение	4,00	3,00	9,00	6,00
Максимальное значение	16,00	11,00	81,00	36,00

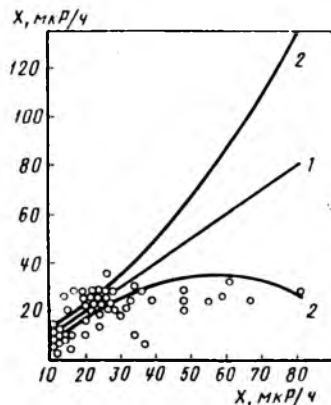
Проверяли гипотезу о соответствии данных нормальному или логарифмически нормальному распределению. Оценки проводили с помощью критерия согласия Смирнова—Крамера—Мизеса (W -квадрат), базирующегося на индивидуальных выборочных значениях ряда, которые расположены в порядке возрастания для уровня значимости 0,05 [4] (рис. 1). Согласно расчетам, все ряды можно аппроксимировать нормальным законом распределения, хотя для Сергиева Посада более подходит логарифмически нормальный закон. Причины этого, видимо, можно выявить после дополнительных экспериментов и исследований, но для решения поставленной задачи достаточно заключения о нормальности распределения.

Общий уровень фона для зоны строгого режима ПЗРО Сергиева Посада примерно в 3,5 раза выше, чем для Москвы. Несмотря на то, что измерения интегральной дозы были параллельными, а все дозиметры метрологически аттестованы, и средние значения, и дисперсии для дозиметров типа 1 в обоих случаях имеют большие значения, чем для дозиметров типа 2. Анализ рядов на принадлежность их к одной совокупности (t -критерий Стьюдента для средних) показал, что по Москве разница средних для



Р и с. 1. Гистограммы и аппроксимирующие их законы распределения: нормальный (1), логарифмически нормальный (2) интегральной дозы облучения по Москве для ТЛД типа 2 (а), 1 (б) и Сергиевому Посаду 2 (в), 1 (г)

Рис. 2. Связь между дозой облучения, зарегистрированной дозиметрами типа 1, (по оси абсцисс) и 2 (по оси ординат): 1 — линия регрессии; 2 — доверительные интервалы



уровня значимости 0,05 несущественна, по Сергиеву Посаду средние принадлежат разным совокупностям.

Из условий проведения эксперимента ожидалось большее совпадение результатов, поэтому встал вопрос об оценке погрешности каждого конкретного измерения. На рис. 2 приведены обобщенные данные по Москве и Сергиеву Посаду. Поскольку измерения были параллельными, уравнение линии регрессии между данными дозиметров типа 1 и типа 2 должно быть вида $Y = X$.

Для каждого экспериментального значения рассчитывали координаты ближайшей точки на линии регрессии и определяли относительную погрешность измерения по каждому типу ТЛД (табл. 3).

Т а б л и ц а 3. Статистические параметры погрешностей измерений

Место проведения эксперимента	Прибор	Погрешность, %			
		средняя	среднеквадратичная	минимальная	максимальная
Москва	ДТК-2, тип 1	0	24	-63	38
	ДТУ-02, тип 2	-17	43	-150	28
Сергиев Посад	ДТК-2, тип 1	6	19	-43	42
	ДТУ-02, тип 2	-24	48	-258	23

Анализ статистических рядов погрешностей (рис. 3) для дозиметров различных типов показал, что в обоих случаях погрешности дозиметров типа 1 более однородны, они почти не имеют постоянного смещения и удовлетворяют нормальному закону. Погрешности дозиметров типа 2 нормальному закону не подчиняются и имеют явно выраженное отрицательное смещение.

Такое занижение показаний дозиметрами типа 2 с тенденцией к еще большему занижению с ростом дозы облучения потребовало проведения дополнительных экспериментов. Дозиметры обоих типов облучали на образцовой гамма-установке базовой поверочной лаборатории Московского НИИ диагностики и хирургии с источником ^{60}Co и в дальнейшем подвергали штатной обработке. Из табл. 4 следует, что дозиметры типа 2 занижают истинную дозу облучения с тенденцией к увеличению погрешности при росте дозы облучения, дозиметры типа 1 немного их завышают. Однако, как сле-

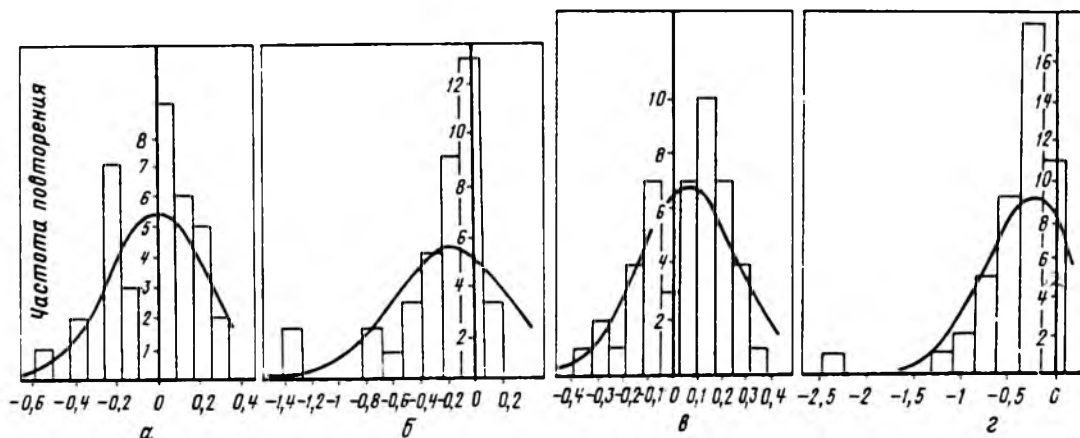


Рис. 3. Гистограммы относительной погрешности измерения дозы облучения с кривой плотности нормального распределения по Москве для ТЛД типа 1 (а), 2 (б) и Сергиеву Посаду 1 (в), 2 (г)

Т а б л и ц а 4. Погрешность показаний дозиметров

Поглощенная доза облучения, мрад	ДТК-2, тип 1			ДТУ-02, тип 2		
	Средняя, мрад	Погрешность среднего		Средняя, мрад	Погрешность среднего	
		абсолютная, мрад	относительная, %		абсолютная, мрад	относительная, %
20	25,00	+5,00	+25,0	20,53	+0,53	+2,6
30	37,80	+7,80	+26,0	29,41	-0,59	-2,0
50	71,75	+21,75	+43,5	46,18	-3,82	-7,6
80	84,67	+4,60	+5,8	66,32	-13,68	-17,1
150	163,75	+13,75	+9,2	117,11	-32,89	-21,9

дует из натуральных экспериментов (см. рис. 2), для дозы облучения до 20—25 мкР/ч, характерной фоновой при проведении радиоэкологического мониторинга Москвы, различие между показаниями дозиметров типа 1 и 2 несущественно, поэтому применение их на местности для получения интегральных характеристик за длительный промежуток времени оправдано.

Во второй серии экспериментов 20 ТЛД были поставлены в местах установки ИРФ на февраль—август. В течение указанного периода неоднократно проводили одновременные замеры мощности экспоненциальной дозы приборами ИРФ и ДРГ-01Т (табл. 5).

Т а б л и ц а 5. Параметры распределения мощности экспозиционной дозы, мкР/ч

Характеристика	ИРФ	ДРГ	ТЛД(1)
Среднее	10,40	10,75	11,35
Среднеквадратичное отклонение	2,14	2,02	3,16
Асимметрия	0,05	0,80	0,60
Экссесс	1,91	3,32	3,04
Минимальное значение	7,00	8,00	7,00
Максимальное значение	14,00	16,00	19,00

Сравнительный анализ данных ИРФ, ДРГ и ТЛД по критериям *F*-Фишера и *t*-Стьюдента показал, что их дисперсии и средние принадлежат одной совокупности. Максимальное зарегистрированное показание мощности экспозиционной дозы для этого эксперимента составляет 19 мкР/ч. Учитывая предыдущие данные сравнений термолюминесцентных дозиметров двух типов, которые до дозы 20—25 мкР/ч тоже принадлежат одной совокупности, можно рекомендовать для проведения работ по радиоэкологическому мониторингу населенных пунктов любые из рассматриваемых приборов. В местах с ожидаемым повышенным радиационным фоном, согласно эксперименту по облучению дозиметров образцовыми источниками (см. табл. 4), также возможно использование дозиметров двух типов: ДТК-2 завышают показания от 6 до 43%, ДТУ-2 занижают от 7 до 21%, что приемлемо при проведении радиационного мониторинга.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дозиметрический и радиометрический контроль при работе с радиоактивными веществами и источниками ионизирующих излучений. Метод. рук. в 2-х т. Т. 2. Индивидуальный контроль. Под общ. ред. В.И. Гришмановского. М.: Энергоатомиздат, 1981. 208 с.
2. Соболев И.А., Коренков И.П., Проказова Л.М., Хомчик Л.М. Радиационная безопасность персонала при обезвреживании радиоактивных отходов. М.: Энергоатомиздат, 1992. 192 с.
3. Немиро Е.А., Губатова Д.Я., Балодэ Г.Ю. Региональная система индивидуального дозиметрического контроля на основе ТЛД. М.: Энергоатомиздат, 1987.
4. Крамер Г. Математические методы статистики. М.: Мир, 1975. 648 с.