

И Н С Т И Т У Т
ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ СОАН С С С Р

И Я Ф 54 - 70

В.С.Григорьев, В.Я.Чудаев

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ
ТЕРМОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ ДОЗИМЕТРОВ ТДП - 2
НА ОСНОВЕ ФТОРИСТОГО ЛИТИЯ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ
ДОЗИМЕТРИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ

Новосибирск

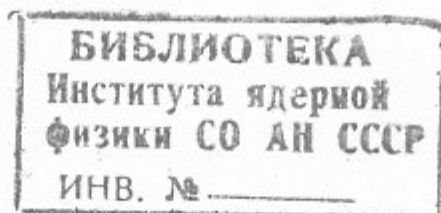
1970

В.С.Григорьев, В.Я.Чудаев

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕРМО-
ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ ДОЗИМЕТРОВ ТДП-2 НА ОСНОВЕ
ФТОРИСТОГО ЛИТИЯ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ДОЗИМЕТРИЧЕСКОГО
КОНТРОЛЯ

А Н Н О Т А Ц И Я

В работе сделаны теоретические и экспериментальные оценки энергетической зависимости показаний термолюминесцентных дозиметров ТДП-2 в диапазоне 10-60 кэв, получены экспериментальные данные о спадании светосуммы в зависимости от температуры и времени хранения дозиметров после облучения и некоторые сведения об угловой зависимости чувствительности дозиметров. Приведены данные о сечениях взаимодействия гамма-квантов с фтористым литием. Описаны результаты применения дозиметров ТДП-2 для индивидуального контроля и даны некоторые практические рекомендации по их использованию.



Нами исследовались термолюминесцентные дозиметры на основе фтористого лития ТДП-2 /1/ разработки Сибирского научно-исследовательского института метрологии. Устройство дозиметра ТДП-2 схематически показано на рис.1. Для теоретической оценки энергетической зависимости показаний дозиметра необходимо иметь данные по коэффициентам ослабления и поглощения энергии для фтористого лития и по коэффициентам ослабления эбонитовой оболочки. В таблице 1 приведены коэффициенты для фтористого лития, рассчитанные на основе результатов Ш.Дейвиссон, приведенных в /2/. Поскольку Дейвиссон не приводит непосредственно данных для лития и фтора, то все сечения взаимодействия были получены с помощью численной или графической интерполяции с использованием данных для соседних элементов. Точность интерполяции около 5%. Коэффициент поглощения энергии рассчитывался по формуле:

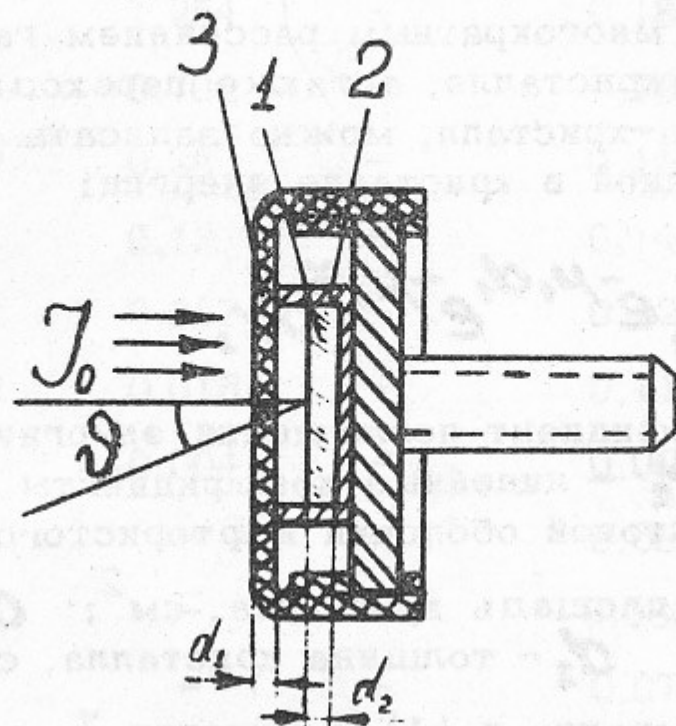


Рис.1. Схематическое устройство дозиметра ТДП-2.

- 1 - кристалл фтористого лития размером $8 \times 8 \times 1 \text{ мм}^3$;
- 2 - медная хромированная подложка кристалла толщиной $0,2 \text{ мм}$;
- 3 - эбонитовая оболочка толщиной $d_1 = 1 \text{ мм}$;
- 4 - θ - угол падения квантов.

$$\gamma = \mu_{\phi} + \mu_{\kappa} \frac{\bar{E}_{\kappa e}}{E_{\gamma}} + \mu_{\pi} \left(1 - \frac{2mc^2}{E_{\gamma}}\right),$$

где μ_{ϕ} - коэффициент фотопоглощения, $\text{см}^2/\text{г}$; μ_{κ} - коэффициент комптоновского рассеяния, $\text{см}^2/\text{г}$; μ_{π} - коэффициент образования пар, $\text{см}^2/\text{г}$. E_{γ} - энергия гамма-квантов; $\bar{E}_{\kappa e}$ - средняя кинетическая энергия комптоновских электронов отдачи; mc^2 - энергия покоя электронов.

Поскольку эбонит не имеет строго определенного химического состава, то при расчётах коэффициентов ослабления его состав с некоторой степенью произвола принимался следующим (в весовых %): углерода - 61,8; водорода - 8,2; серы - 30.

Для оценки энергетической зависимости показаний дозиметров рассчитаем величину поглощенной энергии в кристалле для случая нормального падения гамма-квантов ($\vartheta = 0$, рис.1). Если I_0 есть энергия излучения, падающая на единицу поверхности дозиметра, то пренебрегая многократным рассеянием гамма-квантов в эбонитовой оболочке и кристалле, а также переходными эффектами на границе оболочка-кристалл, можно записать следующее выражение для поглощенной в кристалле энергии:

$$\Delta E \approx S \int_0^{d_2} \gamma_2 I_0 e^{-\mu_1 d_1} e^{-\mu_2 x} dx, \quad (1)$$

где γ_2 - линейный коэффициент поглощения энергии для фтористого лития, см^{-1} ; μ_1, μ_2 - линейные коэффициенты ослабления гамма-квантов для эбонитовой оболочки и фтористого лития соответственно, см^{-1} ; S - площадь кристалла, см^2 ; d_1 - толщина эбонитовой оболочки, см ; d_2 - толщина кристалла, см .

Выполняя интегрирование в (1) и заменяя I_0 его выражением через дозу в воздухе $I_0 = \frac{D_{\text{в}}}{\gamma_{\text{мв}}}$, где $D_{\text{в}}$ - доза в воздухе, эрг/г; $\gamma_{\text{мв}}$ - массовый коэффициент поглощения энергии в воздухе, получим:

$$\Delta E = \frac{\gamma_2}{\gamma_{\text{мв}}} \cdot S d_2 D_{\text{в}} e^{-\mu_1 d_1} \frac{1 - e^{-\mu_2 d_2}}{\mu_2 d_2} \quad (2)$$

Деля обе части равенства (2) на $\rho_2 S d_2 D_{\text{в}}$, где ρ_2 - плотность кристалла, получим

$$\frac{\bar{D}_2}{D_{\text{в}}} = \frac{\gamma_{\text{м2}}}{\gamma_{\text{мв}}} e^{-\mu_1 d_1} \frac{1 - e^{-\mu_2 d_2}}{\mu_2 d_2}, \quad (3)$$

Таблица 1

Е Мэв	Компт. рассеян. барн молек.	Фотоэф- фект барн молек.	Образо- вание пар барн молек.	Коэф.погл. без когер. расс. ² см ² /г.	Коэф.погл. энергии см ² /г.
0,010	7,68	236,3	-	5,66	5,48
0,015	7,55	66,3	-	1,715	1,54
0,020	7,42	26,6	-	0,790	0,623
0,030	7,16	7,23	-	0,334	0,176
0,040	6,94	2,71	-	0,224	0,0736
0,050	6,73	1,254	-	0,185	0,0416
0,060	6,55	0,702	-	0,168	0,0304
0,080	6,20	0,28	-	0,1505	0,0235
0,100	5,91	0,13	-	0,140	0,0220
0,150	5,32	0,037	-	0,1244	0,0235
0,200	4,88	0,015	-	0,1137	0,0251
0,300	4,24	0,004	-	0,0986	0,0268
0,400	3,80	-	-	0,0882	0,0273
0,50	3,47	-	-	0,0805	0,0275
0,60	3,21	-	-	0,0745	0,0274
0,80	2,82	-	-	0,0655	0,0267
1,00	2,53	-	-	0,0587	0,0258
1,5	2,06	-	0,0039	0,0479	0,0236
2,0	1,76	-	0,0155	0,0412	0,0218
3,0	1,38	-	0,0457	0,0332	0,0192
4,0	1,152	-	0,0772	0,0286	0,0176
5,0	0,994	-	0,103	0,0255	0,0164

Продолжение табл.1

Е МэВ	Компт. рассеян. <u>барн</u> молек.	Фотоэф- фект <u>барн</u> молек.	Образо- вание пар <u>барн</u> молек.	Коэф.погл. без когер. расс. см ² /г.	Коэф.погл. энергии см ² /г.
6,0	0,878	-	0,128	0,0234	0,0156
8,0	0,719	-	0,168	0,0206	0,0145
10,0	0,612	-	0,203	0,0190	0,0140
15	0,453	-	0,268	0,01675	-
20	0,363	-	0,317	0,0158	-
30	0,264	-	0,387	0,0151	-
40	0,210	-	0,436	0,0150	-
50	0,175	-	0,472	0,01504	-
60	0,1505	-	0,502	0,01517	-
80	0,1185	-	0,546	0,01544	-
100	0,0983	-	0,580	0,01578	-

$$10^{-24} \text{ см}^2 / \text{молек} \times 0,02325 = \text{см}^2 / \text{г.}$$

где $\gamma_{m2} = \frac{\gamma_2}{\rho_2}$; $\bar{D}_2 = \frac{\Delta E}{\rho_2 S d_2}$ - усредненная по объ-
ему кристалла доза.

Если сделать допущение, что световыход термолюминес-
ценции не зависит от энергии вторичных электронов, то энергетическая зависимость показаний прибора (при постоянной дозе) с
точностью до постоянного коэффициента будет определяться вы-
ражением (3). Результаты вычислений по формуле (3), нормиро-
ванные на единицу при энергии 661 кэВ, представлены на рис.2
(сплошная кривая). Теоретическая оценка энергетической зависи-
мости для углов $\vartheta \neq 0$ затруднительна из-за сложности учета
экранировки кристалла медной подложкой и из-за необходимости
учёта многократного рассеяния квантов.

Экспериментальное исследование энергетической зависимости показаний дозиметров проводилось на рентгеновской установке с помощью нормальной камеры, а при энергии 661 кэв с помощью образцового источника цезия-137 третьего разряда. Величина эффективной энергии рентгеновского излучения регулировалась набором медных и алюминиевых фильтров и изменением величины ускоряющего напряжения на трубке /3/. Величина слоя половинного ослабления контролировалась для каждой энергии экспериментально. Для исследования было взято 7 дозиметров из комплекта прибора ТДП-2 без специального отбора. Облучение дозиметров проводилось при нормальном падении квантов ($\vartheta = 0$) и для угла $\vartheta = 90^\circ$. Результаты измерений, нормированные на единицу при энергии 661 кэв и $\vartheta = 0^\circ$, представлены на рис.2.

Более плавное расположение экспериментальных точек при $\vartheta = 0$ по сравнению с теоретической кривой отчасти объясняется использованием в эксперименте немоноэнергетического рентгеновского излучения. Уменьшение чувствительности дозиметра при облучении под углом 90° объясняется влиянием экранировки кристалла медной подложкой и поглощением излучения в кристалле.

При практическом использовании дозиметров большое значение имеет знание величины регрессии запасенной светосуммы в зависимости от времени и температуры хранения после облучения.

Экспериментальное изучение этой зависимости проводилось следующим образом. Одиннадцать дозиметров ТДП-2 облучались на градуировочном круге источником кобальта-60 в течение 3-х часов на различных расстояниях, так что дозы, полученные различными дозиметрами, изменялись в интервале от 80 мр до 10р. После облучения дозиметры помещались в термостат, в котором температура поддерживалась на заданном уровне с точностью до $0,5^\circ\text{C}$. Вместе с облученными дозиметрами в термостат помещался один необлученный контрольный экземпляр. По окончании срока хранения производился обмер дозиметров на приборе и сразу же после этого проводилось контрольное облучение всех дозиметров прежними дозами с последующим обмером. Промежуток времени от середины контрольного облучения до контрольного обмера составлял около 2-х часов. Для уменьшения ошибок градуировки контрольные и рабочие измерения выполнялись на одинаковых диапазонах. После окончания контрольных измерений для каждого дозиметра вычислялась доля сохранившейся светосуммы, т.е. отношение показания дозиметра после хранения к по-

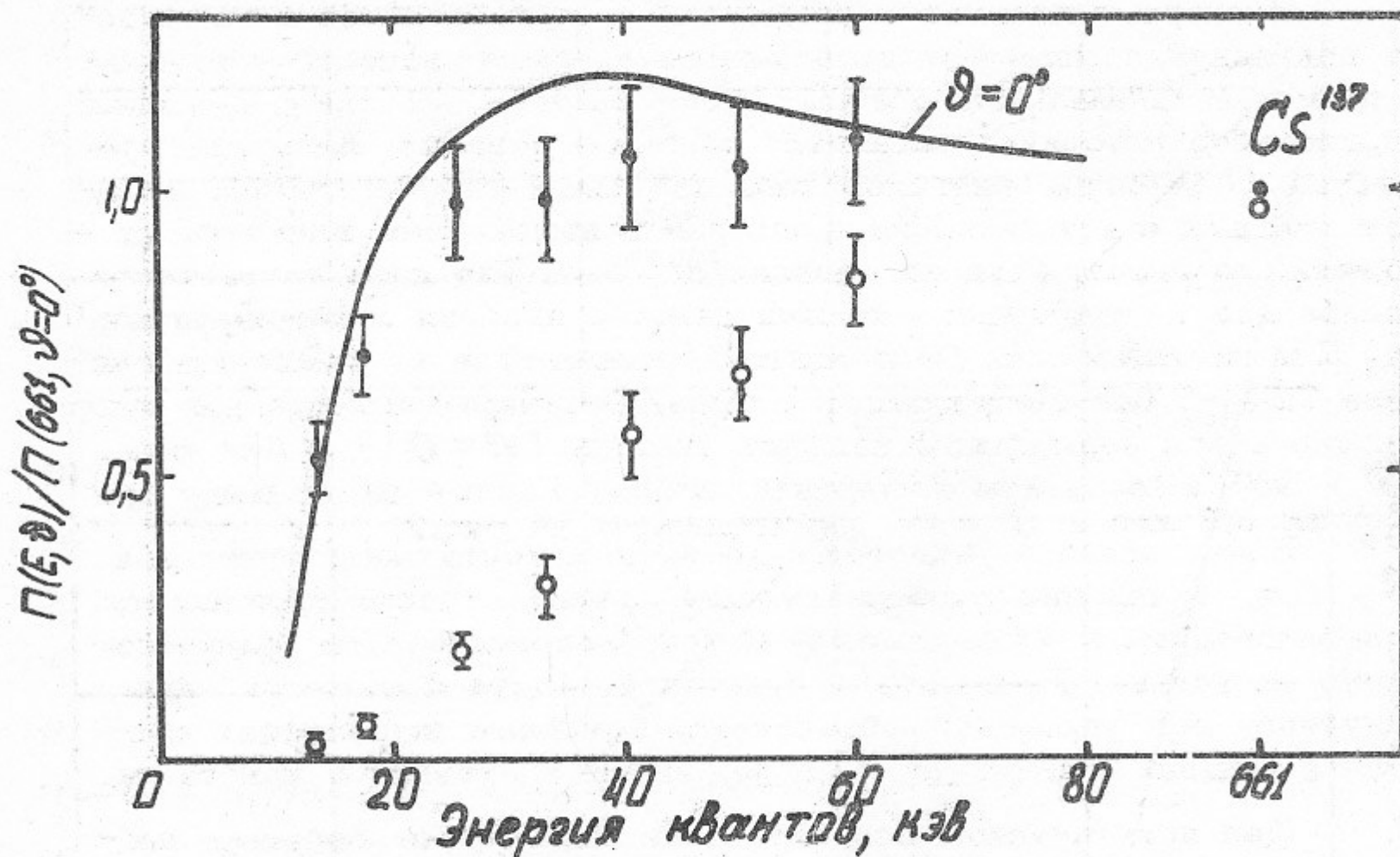


Рис.2. Энергетическая зависимость показаний дозиметров ТДП-2 (нормированная на единицу при энергии 661 кэВ и $\vartheta = 0^\circ$). Сплошная кривая - расчёт по формуле (3); \bullet - экспериментальные данные для нормального падения пучка ($\vartheta = 0^\circ$); \circ - экспериментальные данные для $\vartheta = 90^\circ$.

казанию при контрольном измерении. В изученном диапазоне доз не обнаружилось какой-либо систематической зависимости между дозой облучения и относительной величиной регрессии, поэтому при окончательной обработке данных с целью улучшения точности производилось вычисление средневзвешенной доли сохранившейся светосуммы с использованием результатов, полученных при различных дозах облучения. Эксперименты проведены при температурах хранения $19,4^\circ$, 30° и 40°C . Результаты представлены на рис.3. Уменьшение светосуммы во времени носит в целом экспоненциальный характер с очень сильной зависимостью времени жизни от температуры. При малых временах хранения обнаруживается присутствие более короткоживущего компонента.

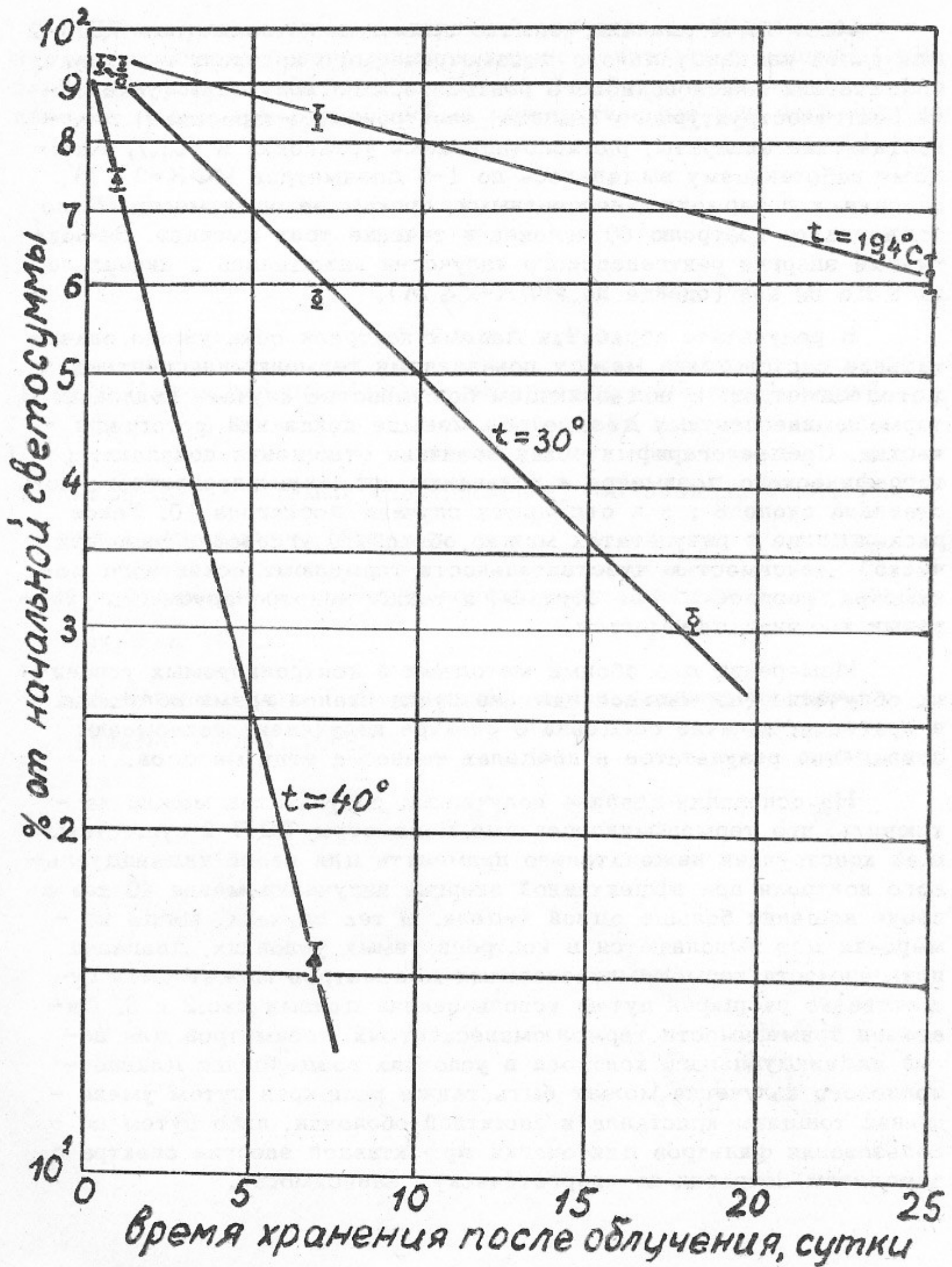


Рис.3. Спадание светосуммы в зависимости от времени и температуры хранения после облучения.

Нами была сделана попытка применения дозиметров ТДП-2 для целей индивидуального дозиметрического контроля в условиях воздействия длинноволнового рентгеновского излучения (установки рентгеноструктурного анализа, электронные микроскопы, диагностические аппараты, радиолокационные установки и т.д.). Каждому работающему выдавалось по 1-5 дозиметров ИФК-2,3 М, спаренных с термолюминесцентными, сроком на один месяц. Было подвергнуто контролю 60 человек в течение трех месяцев. Эффективные энергии рентгеновского излучения находились в интервале от 8 до 60 кэв (оценка по ИФК-2,3 М).

В результате обработки данных контроля обнаружено значительное расхождение между показаниями термолюминесцентных и фотодозиметров. В подавляющем большинстве случаев показания термолюминесцентных дозиметров меньше показаний фотографических. Среднелогарифмическая величина отношения показания фотографического дозиметра к показанию термолюминесцентного составляла около 3; а в отдельных случаях достигала 10. Такое расхождение в результатах можно объяснить угловой и энергетической зависимостью чувствительности термолюминесцентного дозиметра, регрессией светосуммы, а также неконтролируемыми условиями ношения дозиметров.

Измерения доз обоими методами в контролируемых условиях облучения (нормальное падение пучка, малое время облучения и хранения, наличие сведений о спектре излучения) показывают совпадение результатов в пределах точности этих методов.

На основании анализа полученных результатов можно заключить, что термолюминесцентные дозиметры ТДП-2 существующей конструкции нежелательно применять для целей индивидуального контроля при эффективной энергии излучения менее 40 кэв и сроке ношения больше одной недели. В тех случаях, когда измерения доз выполняются в контролируемых условиях, диапазон применимости термолюминесцентных дозиметров может быть существенно расширен путем использования данных рис. 2 и 3. Диапазон применимости термолюминесцентных дозиметров для целей индивидуального контроля в условиях воздействия длинноволнового излучения может быть также расширен путем уменьшения толщины кристалла и защитной оболочки, либо путем использования фильтров для оценки эффективной энергии спектра с введением поправки на энергетическую зависимость.

В настоящее время актуальной является проблема измерения доз длинноволнового рентгеновского излучения в мощных СВЧ-полях. На наш взгляд, при известной доработке термолюминесцентные дозиметры будут весьма перспективными для этой цели.

Л и т е р а т у р а

1. К.М.Куделин и др. Атомная энергия, том 26, вып.4, апрель, 1969.
2. Альфа-бета- и гамма-спектроскопия, под редакцией К.Зигбана, вып.1, Атомиздат, 1969.
3. К.К.Аглинцев Дозиметрия ионизирующих излучений, Гостехиздат, М., 1957.
4. К.К.Шварц и др.. Термолюминесцентная дозиметрия, изд. "Зинатне", Рига, 1968.

Ответственный за выпуск В.Я.Чудаев

Подписано к печати 29. VI. 70г.

Усл. 0,6 печ.л., тираж 150 экз. Бесплатно.

Заказ № 54 . ПРЕПРИНТ.

Отпечатано на ротапинтере в ИЯФ СО АН СССР, нв.