

О.Г. Каширина, Л.В. Тимофеев, В.Г. Лихванцева

## РАДИАЦИОННАЯ ЗАЩИТА ПЕРСОНАЛА ПРИ КОНТАКТНОЙ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ В ОФТАЛЬМОЛОГИИ

Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна, Москва.

Контактное лицо: Каширина О.Г. E-mail: Olga-Kashirina@inbox.ru

### РЕФЕРАТ

**Цель:** Обеспечение радиационной безопасности медицинского персонала при брахитерапии в офтальмологии на основе использования индивидуальных средств защиты (СИЗ).

**Материал и методы:** С целью недопущения возможного внесения защитными материалами оптических искажений, для защитных очков оценен характер зависимости пропускания света в диапазоне длин волн 330–660 нм свинцовыми стеклами марок ТФ-1 и ТФ-5, а также определена интенсивность свечения стекол под действием света и рентгеновского излучения.

**Результаты:** Прослежена степень потемнения и характер восстановления прозрачности стекол после их облучения. Для определения оптимальной толщины освинцованных стекол для защитных очков экспериментально оценено ослабление рентгеновского излучения с эффективными энергиями 30 и 80 кэВ указанными выше стеклами. Рассчитаны значения свинцовых эквивалентов для освинцованных стекол. Так, для  $E_{эфф} \sim 20$  кэВ при кратности ослабления  $k=10$  освинцованное стекло ТФ-5 толщиной 2,0 мм эквивалентно 0,8 мм Pb и т.д. Для возможного применения иных добавок в стекла, приведены кривые ослабления фотонного излучения радионуклида  $^{241}\text{Am}$  (20–60 кэВ) фильтрами из  $^9\text{Be}$ ,  $^{26}\text{Al}$ ,  $^{56}\text{Fe}$ ,  $^{64}\text{Cu}$ ,  $^{99}\text{Mo}$ ,  $^{112}\text{Cd}$ ,  $^{184}\text{W}$ ,  $^{207}\text{Pb}$ .

**Заключение:** Возможное введение в практику нового предела катарактогенной дозы для хрусталика глаза может быть успешным только в случае применения как существующих, так и вновь разрабатываемых СИЗ. Для уменьшения воздействия радиации на персонал можно использовать отечественные освинцованные стекла в виде экранов и очков.

**Ключевые слова:** офтальмология, контактная лучевая терапия, персонал, средства индивидуальной защиты

**Для цитирования:** Каширина О.Г., Тимофеев Л.В., Лихванцева В.Г. Радиационная защита персонала при контактной лучевой терапии в офтальмологии // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2021; Т.66. №3. С.62–67.

DOI: 10.12737/1024-6177-2021-66-3-62-67

### Введение

В 2011 г. Международная комиссия по радиационной защите (МКРЗ) выпустила публикацию о реакции тканей, в которой содержались рекомендации по ужесточению предела дозы для хрусталика глаза [1]. Для профессионального облучения работников в возрасте старше 18 лет в ситуациях планируемого облучения предлагается установить следующие пределы доз: эквивалентная доза в хрусталике глаза 20 мЗв в год, усредненная за 5 последовательных лет (100 мЗв за 5 лет), и 50 мЗв за любой отдельный год, для населения – 15 мЗв в год. Таким образом, предложенная допустимая годовая эквивалентная доза облучения хрусталика глаза для профессионалов в 7,5 раз меньше предельной дозы, применяемой в настоящее время. Кроме того, катарактогенный порог предполагается снизить до 500 мГр. В связи с предполагаемым введением в практику радиационной защиты новых дозовых пределов для хрусталиков глаза в октябре 2012 г. состоялось техническое совещание экспертов из государств-членов МАГАТЭ. Российскую Федерацию представляла врач-офтальмолог к.м.н. О.Г. Каширина.

Цель совещания состояла в разработке руководящих материалов по применению требований в отношении нового предела дозы для хрусталика глаза. По результатам совещания был подготовлен технический документ (TECDOC), после обсуждения которого новые нормы вошли в Международные основные нормы безопасности (Вена 2015г.) [2].

Одним из ключевых вопросов дискуссии на этом совещании был пункт планирования рабочих мест, оборудования и применения средств индивидуальной защиты при медицинском облучении.

### Материал и методы

#### Ограничение медицинского облучения

Принципы контроля и ограничения радиационных воздействий в медицине основаны на получении необходимой и полезной диагностической информа-

ции или терапевтического эффекта при минимально возможных уровнях облучения пациентов. При этом не устанавливаются пределы доз, но используются принципы обоснования назначения радиологических медицинских процедур и оптимизации мер защиты пациентов.

В НРБ-99/2009 [3] приведены требования к определению эквивалентных доз в хрусталиках глаз персонала.

В 2002 г. были утверждены и разосланы заинтересованным учреждениям и предприятиям МУ 2.6.1.56–2002 «Контроль эквивалентных доз фотонного и бета-излучения в коже и в хрусталике глаза» [4], а в 2016 г. подготовлены новые МУ 2.6.5.037–2016 [5].

#### Пути обеспечения радиационной безопасности

Радиационная безопасность обычно обеспечивается как путем применения различных средств индивидуальной защиты (СИЗ) от источников ионизирующего излучения, так и путем повышения радиационно-гигиенической грамотности персонала и населения. Радиационная безопасность персонала обеспечивается достаточностью защитных барьеров, экранов, применением СИЗ. Все работающие с источниками излучения или посещающие такие участки должны обеспечиваться СИЗ в соответствии с видом и классом работ.

Средство индивидуальной защиты (СИЗ) – техническое средство, носимое человеком и используемое для предотвращения или уменьшения воздействия на человека вредных и /или опасных факторов, а также для защиты от загрязнения [3].

#### Радиационная безопасность пациентов при медицинском облучении

При проведении лучевой терапии должны быть приняты все возможные меры для предотвращения лучевых осложнений у пациента.

Отделения (подразделения) лучевой терапии и диаг-

ностики должны иметь и использовать при выполнении лечебно-диагностических процедур обязательный набор передвижных и индивидуальных средств радиационной защиты пациента и персонала. Одним из основных видов СИЗ являются защитные очки.

Во втором томе «Радиационной медицины», практически в первых строках предисловия, академик РАН Л.А. Ильин напоминает, что еще в 1906 г. Д.Я. Решетило рекомендовал защищать глаза от ионизирующего излучения очками из свинцового стекла [6].

Для выполнения работ в особо опасных зонах при ликвидации аварии на ЧАЭС предусматривалось использование для защиты глаз от бета-излучения щитков-масок из оргстекла толщиной 2–5 мм [7].

Например, в справочнике по радиационной безопасности А.Ф. Козлова приведены рекомендации по использованию защитных очков из оргстекла толщиной 6 мм при работе с бета-излучателями продуктов деления. При этом основной задачей защиты от мощных потоков бета-частиц является защита от возникающего тормозного фотонного излучения [8].

По мнению авторов работы [9], изменение пределов дозы для хрусталиков глаза потребует, в частности, создания лицевых частей СИЗ, поглощающих мягкое фотонное и/или бета-излучение, из прозрачного материала с наполнителем из свинца, вольфрама, олова.

В России (ФМБЦ им. А.И. Бурназяна, ранее – Институт биофизики МЗ СССР, ВНИИ неорганических материалов, МОКБ, МНИИ ГБ им. Гельмгольца, ВНИИРТ) впервые в мировой практике был создан комплект офтальмоаппликаторов (ОА) для лучевой терапии онкологических заболеваний из 16 типов ОА на основе бета-излучателя  $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$  (рис. 1).

Комплект является наиболее полным по сравнению с зарубежными аналогами [10–13].

Аппликаторы были внедрены в медицинскую практику. Результаты дозиметрических исследований вошли в Методические рекомендации по бета-терапии заболеваний глаза человека [11]. В настоящее время разработаны и серийно выпускаются малыми партиями отечественные офтальмоаппликаторы на основе  $^{106}\text{Ru}/^{106}\text{Rh}$  [14–16]. В офтальмоонкологии, как в эксперименте, так и на практике, применяются также источники фотонного излучения, например, с радионуклидами  $^{103}\text{Pd}$ ,  $^{125}\text{I}$ ,  $^{60}\text{Co}$ . Граничная энергия бета-излучения используемых при контактной лучевой терапии (КЛТ) источников изменяется от 200 кэВ до 3,5 МэВ, активность радионуклидов может составлять величины 40–4000 МБк. Энергия фотонного излучения варьирует 20 кэВ до 1,2 МэВ.

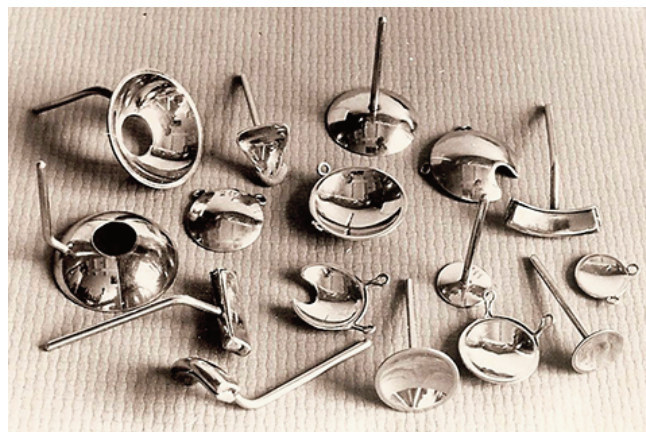


Рис. 1. Комплект отечественных стронциевых офтальмоаппликаторов из 16 различных типов

Fig. 1. Set of domestic strontium ophthalmic applicators of 16 different types

### Процедура профессионального облучения глаз персонала

Выполнение основных дозообразующих операций:

- поиск и/или инвентаризация контейнера с источниками;
- перенос вручную транспортного контейнера с источниками;
- идентифицирование и отслеживание источников по маркировке, наносимой на самом источнике;
- перекладывание источников из контейнера в стерилизатор, как правило, открытого типа;
- работа по подготовке источника к операции за защитной ширмой;
- процедура «подшивания» источника к склере в заднем отделе глаза;
- процедура наложения источника на передний отдел глаза;
- последующий уход и наблюдение за больным с «подшитым» источником;
- извлечение (удаление) источника из очага поражения;
- размещение ОА в защитном и/или транспортном контейнере.

### Технологические процедуры брахитерапии в онкологической офтальмологии

- Подготовка к плановой работе по проведению сеансов брахитерапии – визуальный выбор необходимого типа ОА по маркировке (расположенной, как правило, на тыльной поверхности самого источника). Расстояние при этом не более 10 см. Возможно использование защитных экранов и СИЗ.
- Процесс установки ОА на очаг поражения, к сожалению, сопровождается ручными манипуляциями, продолжительность которых составляет от 1 до 2 мин. (передний отдел глаза) и до 10 мин. для заднего отдела глаза. При этом возможно использование СИЗ. Расстояние  $R \sim (5-15)$  см.
- Процесс удаления ОА с очага поражения: менее продолжительный для переднего отдела глаза, более длительный – для заднего отдела глаза.
- Частота проведения процедур: для переднего отдела глаза – ежедневно, количество пациентов не менее 5–10 человек; задний отдел глаза – ОА подшивается на несколько дней и количество больных существенно меньше.
- Ежедневные наблюдения за пациентами в специальных палатах при терапии опухолей заднего отдела глаза.
- Учет, хранение, периодическая инвентаризация средств облучения.

### Результаты и обсуждение

В данной публикации мы вернулись к проведенной нами ранее работе [17] с целью показать возможность применения отечественных свинцовых стекол не только при создании дозиметров, но и при конструировании защитных средств для использования при контактной лучевой терапии в офтальмологии.

Для определения оптимальной толщины свинцовых стекол мы оценили ослабление рентгеновского излучения в стеклах ТФ-1 (плотность  $3,86 \text{ г/см}^3$ , содержание РbО 52 %) и ТФ-5 (плотность  $4,77 \text{ г/см}^3$ , содержание РbО 65 %). Измерения проводились на рентгеновских аппаратах РУМ-3 (максимальное напряжение на трубке 200 кВ) и «Дермамобиль» (50 кВ). В качестве детектора использовали дозиметр со сцинтиллирующей пластмассой NE-102 в виде цилиндра диаметром 10 мм и высотой 12 мм, окруженной с боков плексигласом. Сцинтиллятор был сочленен с ФЭУ-35, работающим в токовом режиме.

При работе на рентгеновском аппарате РУМ-3 пучок излучения ограничивали свинцовой прямоугольной диафрагмой размером 2 × 3 см. Расстояние между фокусным пятном и детектором устанавливали равным 25 см. При фильтре 0,5 мм Cu + 1 мм Al и напряжениях 160–200 кВп эффективная энергия излучения равнялась 70–80 кэВ, а при фильтре 1 мм Al и напряжениях 100–140 кВ составляла 29–33 кэВ. При измерениях на аппарате «Дермаобилка» детектор находился на расстоянии 1 см от цилиндрического тубуса диаметром 2 см. В качестве фильтра использовали алюминий толщиной 1 мм. Для данного фильтра и напряжения на трубке 50 кВ эффективная энергия рентгеновского излучения составляла приблизительно 18–20 кэВ. Эффективную энергию определяли с помощью сферической тонкостенной териленовой камеры от конденсаторного дозиметра типа КД-1М.

Легкие защитные маски могут быть изготовлены из прозрачного просвинцованного пластика, обеспечивающего коэффициент ослабления, например рентгеновского излучения при 120 кВ, не менее двух. Для более сильного ослабления фотонного излучения (например, для рентгеновского излучения при 150 кэВ) должно уже использоваться прозрачное освинцованное стекло, эквивалентное 0,5 мм Pb.

Результаты измерений ослабления рентгеновского излучения в стеклах ТФ-1 и ТФ-5 представлены на рис. 2. Из приведенных графиков видно, что ослабление на 2–3 порядка рентгеновского излучения с энергией приблизительно 80 кэВ (~180кВп) потребуются всего 10–20 мм свинцового стекла, а для 20 кэВ (~50 кВп) – 1,5 мм. Для одной и той же кратности ослабления толщина стекла ТФ-5 оказывается в 1,5–2 раза меньше, чем ТФ-1. С целью определения толщины стекол для рентгеновского излучения с энергией, большей 100 кэВ, можно пользоваться расчетными данными работы [18]. Например, для ослабления на 2 порядка гамма-излучения с энергией 200 кэВ необходимо 39 мм стекла ТФ-5.

Защитные материалы, используемые в СИЗ для глаз, не должны вносить оптические искажения. Характер зависимости пропускания света освинцованными стеклами от длины волны изучали на спектрофотометре SP-700 в диапазоне длин волн 330–660 нм. Результаты измерений для стекол толщиной 10 мм представлены на рис. 3.

По оси абсцисс отложены обратные значения длин волн, по оси ординат – пропускание в процентах. Из графиков видно, что стекла ТФ-1 и ТФ-5 практически одинаково ослабляют световой поток и достаточно

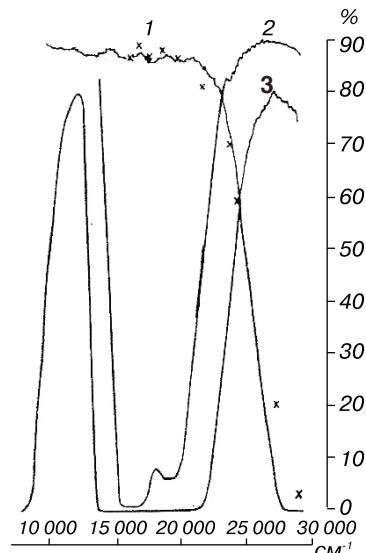


Рис. 3. Спектры пропускания  
Fig. 3. Transmission spectra

- 1 – стекла ТФ-1 /glass TF-1
  - 2 – светофильтра ФС-7 толщиной 0,3 мм /light filtr FS-7 0,3 mm thick
  - 3 – светофильтра ФС-7 толщиной 2 мм /light filtr FS-7 2 mm thick
- Кресты – экспериментальные данные для стекла ТФ-5 /Crosses–experimental data for TF-5 glass

прозрачны в диапазоне оптических длин волн. Естественно, при меньшей толщине освинцованных стекол прозрачность только увеличивается. Таким образом, относительно тонкие слои этого стекла практически не поглощают оптический свет.

Так же исследовалось свечение стекол ТФ-1 и ТФ-5 как под действием света в интервале длин волн 240–400 нм, так и под действием рентгеновского излучения в диапазоне энергий приблизительно 10–80 кэВ. Полученные в одинаковых условиях спектры свечения стекол ТФ-1 и ТФ-5 толщиной 10 мм каждое, представлены на рис. 4 (кривые 1 и 2 соответственно).

Отношение интенсивностей свечения стекол ТФ-1 и ТФ-5 при возбуждении свечения световым потоком оказалось приблизительно равно 7,5. При возбуждении рентгеновским излучением ( $E_{эфф}=20кэВ$ ) это отношение равнялось 10.

В связи с тем, что: 1) по характеру пропускания света стекла ТФ-1 и ТФ-5 в широком интервале длин волн практически идентичны, 2) защитные свойства стекла ТФ-5 значительно лучше, чем у ТФ-1, и 3) свечение на выходе стекла ТФ-1 по интенсивности

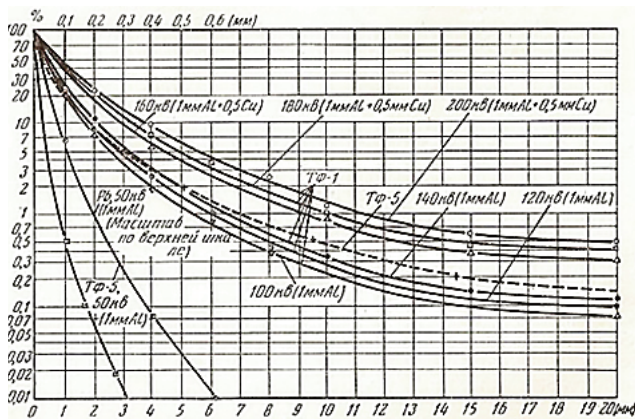


Рис. 2. Ослабление рентгеновского излучения в стеклах ТФ-1 и ТФ-5 [18]  
Fig. 2. X-ray attenuation in glasses TF-1 and TF-5 [18]

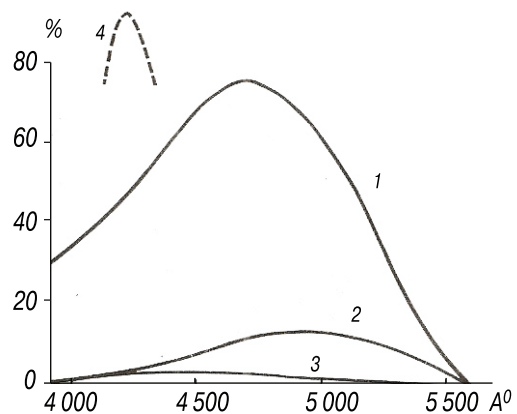


Рис. 4. Спектры свечения стекол ТФ-1 и ТФ-5  
Fig. 4. Luminescence spectra for glasses TF-1 and TF-5

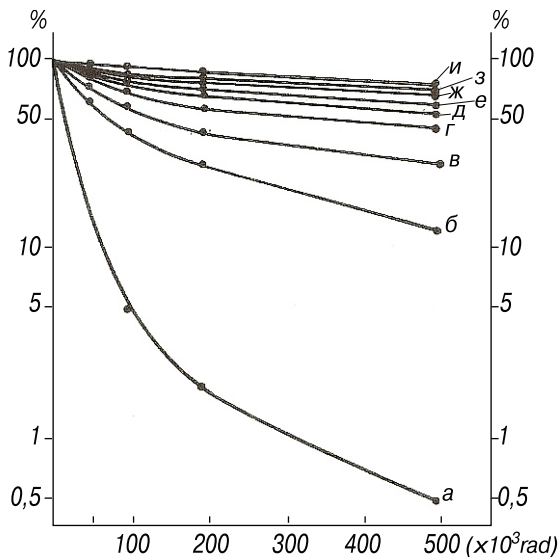


Рис. 5. Восстановление пропускания света стеклом ТФ-5 после облучения (хранения на свету).

а – сразу после облучения; б – через 2 дня; в – через 3 дня; г – через 4 дня; д – через 5 дней; е – через 7 дней; ж – через 9 дней; з – через 11 дней; и – через 30 дней после облучения

Fig. 5. Restoration of light transmission by TF-5 glass after irradiation (storage in the light)

приблизительно на порядок больше, чем свечение ТФ-5, в дальнейшем изучались лишь характеристики стекл марки ТФ-5.

Вклад люминесценции освинцованного стекла можно уменьшить, применив для этих целей светофильтры, например ФС-7. Как видно из рис. 4, максимум свечения стекла ТФ-5 толщиной 10 мм соответствует приблизительно длине волны в 500нм. На рис. 3 приведены кривые пропускания света для светофильтра ФС-7 толщиной 2 мм (кривая 3) и 0,3 мм (кривая 2). Таким образом светофильтр ФС-7 должен сильно ослаблять свечение освин-

Таблица 1

Соотношение  $\alpha$  между значениями толщины освинцованных стекол и свинца для различных кратностей  $k$  ослабления фотонного излучения

Relatiochip  $\alpha$  between the values of the thickness of leaded glass for different multiplicities  $k$  of attenuation of photon radiation

Марка стекла	Эффективная энергия излучения, кэВ	Кратность ослабления, $k$			
		10	100	200	1000
ТФ-5	20	0,2/0,08=2,5	0,8/0,2=4	1/0,25=4	3/0,6=5
ТФ-1	30 ( $^{241}\text{Am}$ ) (20–60)	1,8/0,4=4,5	11/1,3=7,5	–	–

Таблица 2

Толщина защиты из освинцованных стекол для фотонного излучения  
Thickness of leaded glass protection for photon radiation

Кратность ослабления Излучения, $k$		1,5	2,0	5,0	10	30	50	100	200	1000
Энергия излучения, кэВ	Марка стекла	Толщина стекла, см								
		100	ТФ-1	0,40	0,5	1,0	1,2	1,7	1,9	2,2
200	3,86 г/см <sup>3</sup>	0,6	0,8	1,6	2,2	3,0	3,4	4,0	4,7	6,0
100	ТФ-5	0,3	0,4	0,6	1,0	1,3	1,5	1,8	2,1	2,6
200	4,77 г/см <sup>3</sup>	0,4	0,7	1,5	2,1	2,9	3,3	3,9	4,4	5,4
100	СТФ	0,2	0,3	0,5	0,8	1,0	1,1	1,3	1,4	1,7
200	6,73 г/см <sup>3</sup>	0,3	0,5	1,0	1,4	1,8	2,0	2,3	2,6	2,2
100	Свинец	0,05	0,1	0,2	0,3	0,35	0,4	0,5	0,6	0,7
200	11,3 г/см <sup>3</sup>	0,1	0,2	0,4	0,55	0,7	0,85	1,0	1,25	1,5
20 эфф.			0,05		0,01			0,06		
80 эфф.										

цованных стекол. Спектр 3 на рис. 4 получен после прохождения света через 10 мм стекла ТФ-5 и 0,3 мм светофильтра ФС-7. Свечение стекла после светофильтра снизилось в 5 раз.

Под действием ионизирующего излучения свинцовые стекла темнеют. Например, для стекла ТФ-5 толщиной 12,5 мм при облучении его в дозе 20 Гр  $^{60}\text{Co}$  интегральное пропускание ухудшается на 10 %, при толщине 2 мм – на 3 %. Со временем прозрачность стекол восстанавливается, причем скорость восстановления на свету в 3–5 раз выше, чем в темноте. При больших дозах, например 10<sup>3</sup> Гр, пропускание для длины волны 410нм падает до 0,6 %, но за 30 дней восстанавливается до 80 % (см. рис. 5).

Из сказанного следует, что при конструировании носимых оптических СИЗ глаза предпочтительнее использовать стекло марки ТФ-5.

Применительно к работе с широкими пучками рентгеновского излучения мы определили для освинцованных стекол так называемый свинцовый эквивалент через значение коэффициента  $\alpha(k)$  – толщина стекла/толщина свинца для кратностей ослабления излучения  $k=10-1000$ .

Результаты оценки значений  $\alpha$  приведены в табл. 1. Например, для  $E_{\gamma,x}=20$  кэВ и освинцованного стекла марки ТФ-5 при  $k=200$  свинцовый эквивалент равен 0,25 мм, а  $\alpha=4$ .

В табл. 2 представлены данные по толщине стекол в зависимости от кратного ослабления  $k$  для различных энергий фотонов. При этом некоторые данные позаимствованы из работ [8–18]. Полученные результаты могут быть использованы также при конструировании мобильных (подвижных) защитных экранов.

Приведенные данные позволили оценить свинцовый эквивалент. В табл. 3 приведены значения  $\alpha(k)$  различных кратностей ослабления фотонов разных энергий.

Для возможного применения иных добавок в стеклах, нами экспериментально оценен характер ослабления фотонного излучения радионуклида  $^{241}\text{Am}$  (20–60 кэВ) фильтрами из:  $^9\text{Be}$ ,  $^{26}\text{Al}$ ,  $^{56}\text{Fe}$ ,  $^{64}\text{Cu}$ ,  $^{99}\text{Mo}$ ,  $^{112}\text{Cd}$ ,  $^{184}\text{W}$ ,  $^{207}\text{Pb}$  (рис.6).

Таблица 3

Значения свинцового эквивалента освинцованных стекол для различных кратностей ослабления фотонов разных энергий  
Lead equivalent values of glasses for different multiplicity of attenuation of photons of different energy

Кратность ослабления излучения		1,5	2	5	10	30	50	100	200	1000
Энергия излучения, кэВ	Марка стекла	Значения $\alpha(k)$								
100	ТФ-1	8	5	5	4	5	5	4	4	4
200		6	4	4	4	4	4	4	4	4
100	ТФ-5	6	4	3	3	4	3	3	3	4
200		4	3,5	4	4	4	4	4	3	4
100	СТФ	4	3	2,5	2,5	3	2,5	2,6	2,3	2,4
200		3	2,5	2,5	3	2,8	2,3	2,3	2,1	1,5

### Заключение

Предстоящее введение в практику нового предела катарактогенной дозы в хрусталике глаза может быть успешным в случае соответствующего обучения персонала методикам радиационной защиты и только при применении должным образом как существующих, так и вновь разрабатываемых СИЗ. Дозы облучения персонала, вме-

сте с дозами облучения пациентов, должны быть общей частью стратегии оптимизации в медицинском облучении. Для уменьшения воздействия радиации на персонал можно использовать отечественные освинцованные стекла типа ТФ-1, ТФ-5, СТФ с различным содержанием свинца. Тонкие слои освинцованных стёкол практически прозрачны к излучению в оптическом интервале длин волн и не должны вносить оптические искажения в случае использования их, например, в защитных очках или масках. Освинцованные стёкла быстро восстанавливают свою прозрачность, особенно при дневном свете, после облучения даже дозой 20 Гр.

Освинцованные стёкла эффективно поглощают фотонное излучение с энергией до 100 кэВ. Например, при  $E_{\text{эфф}}=20$  кэВ 1 мм стекла ТФ-5 эквивалентен 0,25 мм свинца при кратности ослабления рентгеновского излучения  $k=200$ . При  $k=10^4$  требуется 3 мм стекла или 0,6 мм Pb.

Напомним, что облучение хрусталика становится лимитирующим с точки зрения обеспечения радиационной безопасности в диапазоне энергий фотонов 10–60 кэВ.

При индивидуальной дозиметрии персонала число и расположение на теле «глазных» дозиметров, обработка и использование их показателей не могут пока быть рекомендованы однозначно. Рациональное место ношения их могут «подсказать» СИЗ, например очки.

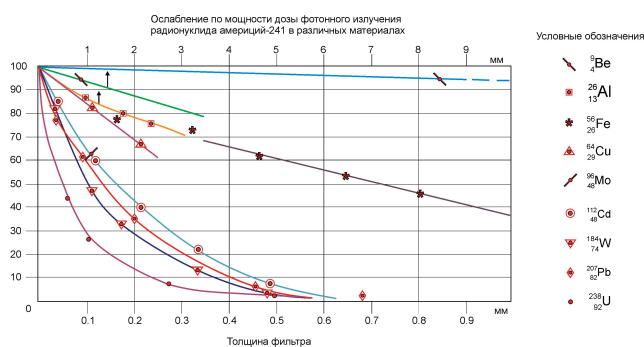


Рис. 6. Ослабление по мощности дозы фотонного излучения радионуклида  $^{241}\text{Am}$  в различных материалах.

Fig. 6. Attenuation of the dose rate of photon radiation of  $^{241}\text{Am}$  in various materials

## Radiation Protection of Personnel in Contact Radiation Therapy in Ophthalmology

O.G. Kashirina, L.V. Timofeev, V.G. Likhvantseva VG

A.I. Burnasyan Federal Medical Biophysical Center, Moscow, Russia

Contact person: Kashirina O.G. E-mail: Olga-Kashirina@inbox.ru

### ABSTRACT

**Purpose:** To ensure radiation safety of medical staff personal protective equipment (PPE).

**Material and methods:** In order to not make assumptions of possible protective materials optical distortion, estimated the dependence of light transmission in the wavelength range 330–660 nm leaded glass brands of TF-1 and TF-5, as well as the intensity of glow glasses when exposed to light and X-rays.

**Results:** We trace the degree of browning and the nature of the recovery of transparency of glass after irradiation. To determine the optimum thickness of lead glass for eyewear experimentally evaluated attenuation of X-rays with energy efficiency 30 and 80 keV. Lead equivalent values for lead glass, was determined so for  $E_{\text{эфф}} \sim 20$  keV at a multiplicity of weakening  $k = 10$  lead glass brand TF-5 thickness 2.0 mm equivalent 0.8 mm Pb, etc. For the possible use of other additives in the window shows the curves of the attenuation of photon radiation radionuclide  $^{241}\text{Am}$  (20–60 keV) filters from  $^9\text{Be}$ ,  $^{26}\text{Al}$ ,  $^{56}\text{Fe}$ ,  $^{64}\text{Cu}$ ,  $^{99}\text{Mo}$ ,  $^{112}\text{Cd}$ ,  $^{184}\text{W}$ ,  $^{207}\text{Pb}$

**Conclusion:** Possible introduction of new dose limits for the lens of the eye can be successful only in case of both existing and newly developed PPE. To reduce the impact of domestic lead glass radiation can be used for staff in the form of screens and glasses.

**Key words:** ophthalmology, contact radiotherapy, personnel, personal protective equipment

**For citation:** Kashirina OG, Timofeev LV, Likhvantseva VG. Radiation Protection of Personnel in Contact Radiation Therapy in Ophthalmology. Medical Radiology and Radiation Safety 2021;66(3):62-67.

DOI: 10.12737/1024-6177-2021-66-3-62-67

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Публикация 118 МКРЗ. Отчет МКРЗ по тканевым реакциям, ранним и отдаленным эффектам в нормальных тканях и органах - пороговые дозы для тканевых реакций в контексте радиационной защиты. Челябинск, 2012.
2. Радиационная защита и безопасность источников излучения: Международные основные нормы безопасности МАГАТЭ. Общие требования безопасности. Часть 3 / Международное агентство по атомной энергии. Вена, 2015.
3. СанПиН 2.6.1. 2523-09. Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009.
4. МУ 2.6.1.56-02. Методические указания. Контроль эквивалентных доз фотонного и бета-излучения в коже и хрусталике глаза.
5. МУ 2.6.5.037-2016. Методические указания. Контроль эквивалентной дозы фотонного и бета-излучения в коже и хрусталике глаза.
6. Радиационная медицина / Под ред. Л.А. Ильина. М.: ИздАт, 2001. Т.2.
7. Крючков В.П., Кочетков О.А., Тимофеев Л.В. и др. Авария на ЧАЭС: дозы облучения участников ЛПА. М., 2011.
8. Козлов В.Ф. Справочник по радиационной безопасности. М.: Энергоатомиздат, 2011. 227 с.
9. Рубцов В.И., Клочков В.Н., Требухин А.Б. и др. Контроль эквивалентной дозы облучения хрусталика глаза и оценка возможности ее снижения. АНРИ, 2013. №3.
10. Бровкина А.Ф., Тимофеев Л.В. и др. Применение изотопов в лечение глазных новообразований // Матер. конф. "Радиоактивные изотопы в офтальмологии". М., 1973.
11. Бровкина А.Ф., Тимофеев Л.В. и др. Бета-терапия опухолей органа зрения. Методические рекомендации. МЗ СССР. М., 1998.
12. Будкина Г.П., Зарубей Г.Д., Тимофеев Л.В. и др. Медицинские лабораторные испытания офтальмоаппликаторов для заднего отдела глаза с радионуклидами  $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$ : отчет МНИИГБ им. Гельмгольца. М., 1978.
13. Офтальмоонкология / Под ред. Бровкиной А.Ф. М.: Медицина, 2002.
14. Тимофеев Л.В., Семикова Т.С. Предложение на разработку и освоение медицинского изделия. Заключение МЗ СССР о целесообразности разработки. Протокол № 6 от 02.11.89 г.
15. Тимофеев Л.В., Бочкарев В.В., Орлова Т.С., Шагаев В.А. Некоторые дозиметрические характеристики офтальмоаппликаторов для лучевой терапии внутриглазных опухолей // Матер. междунар. симп. М., 1986. С. 130.
16. Линник Л.Ф., Семикова Т.С., Тимофеев Л.В. Опыт использования офтальмоаппликаторов с рутением-106+родий-106 // Матер. Всероссийской научной конференции «Методы получения и применения терапевтических источников излучения». М., 1991.
17. Тимофеев Л.В., Бочкарев В.В., Дегтярев С.Ф. Уменьшение тока фотоэлектронного усилителя при воздействии гамма- или рентгеновского излучения // Медицинская радиология 1970. Т.15, №.9. С.73-7.
18. Михайлов Л.М., Арефьева З.С. Таблицы для расчета толщины защиты из освинцованных стекол от "широкого пучка"  $\gamma$ -лучей // Атомная энергия. 1962. Т.12, №1. С.58-62.

## REFERENCES

1. Statement on Tissue Reactions / Early and Late Effects of Radiation in Normal Tissues and Organs – Threshold Doses for Tissue Reactions in a Radiation Protection Context. ICRP Publication 118. Ann ICRP. 2012. V.42, No.1/2 (In Russian).
2. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic IAEA Safety Standards. General Safety Requirements, Part 3. IAEA, Vienna. 2015 (In Russian).
3. SanPiN 2.6.1. 2523-09. Radiation Safety Standards NRB-99/2009: 2009 (In Russian).
4. Methodical Instructions MU 2.6.1.16-2002. Control of Equivalent Doses of Photon and Beta Radiation in the Skin and Lens of the eye. 2002. 42 p. (In Russian).
5. Methodical Instructions MU 2.6.5.037-2016. Control of Equivalent Doses of Photon and Beta Radiation in the Skin and lens of the Eye. 2016 (In Russian).
6. Radiation medicine. Ed by of R Ilyin LA. Published V.2. 2001 (In Russia).
7. Kryuchkov VP, Kochetkov OA, Timofeev LV, et al. The Accident at Chernobyl: Radiation Doses of Participants of Liquidation of Consequences of the Accident. Moscow Publ. 2011 (In Russian).
8. Kozlov VF Reference Book on Radiation Safety. Moscow Publ. 2011. 227 p. (In Russian).
9. Rubtsov VI, Klochkov VN, Trebuchyn AB, et al. Control of Radiation Dose Equivalent Lens of the Eye and its Reduction. ANRI. 2013. No.3 (In Russia).
10. Brovkina AF, Timofeev LV et al. The use of Isotopes in the Treatment of Eye Tumors. materials of Conf. "Radioactive Isotopes in Ophthalmology." Moscow Publ. 1973 (In Russian).
11. Brovkina AF, Timofeev LV, et al. Beta-therapy of Tumors of the eye. Methodical Recommendation. Ministry of Health of the USSR. Moscow Publ. 1998. 22 p. (In Russian).
12. Budkina GP, Zarubei GD, Timofeev LV, et al. Medical Laboratory Testing of Ophthalmological for Posterior Eye with the Radionuclides  $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$ : a Report of Helmholtz's Institute. 1978 (In Russian).
13. Ophthalmooncology. Ed. by Brovkina A F. Moscow, Moscow Publ. 2002 (In Russian).
14. Timofeev LV, Semikova TS. Proposal for the Development and Implementation of Medical Products. Conclusion of the Ministry of health of the USSR on the Feasibility of Development. Protocol No. 6 dated 02.11.89 (In Russian).
15. Timofeev LV, Bochkarev VV, Orlova TS, Shagaev VA. Some Dosimetric Characteristics of Ophthalmological for Radiation Therapy Unthrilling Tumors. Materials of Int. Symp. Moscow Publ. 1986. 130 p. (In Russian).
16. Linnik LF, Semikova TS, Timofeev LV. Experience of Using Ophthalmological with Ruthenium-106+Rhodium-106. Materials of the All-Russian Scientific Conference "Methods of Obtaining and Using Therapeutic Radiation Sources." Moscow Publ. 1991 (In Russian).
17. Timofeev LV, Bochkarev VV, Degtyarev SF Reduction of the Current of the Photoelectron Amplifier under the Influence of Gamma or x-ray Radiation. Medical Radiology. 1970; 15; 9:73-7 (In Russian).
18. Mikhailov LM, Arefieva ZS Tables for Calculation of Thickness of Protection from Lead Glasses from "Wide Beam" Rays. Atomic Energy. 1962; 12; 1:58-62 (In Russian).

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.  
**Финансирование.** Исследование не имело спонсорской поддержки.  
**Участие авторов.** Статья подготовлена с равным участием авторов.  
**Поступила:** 23.12.2020. Принята к публикации: 20.01.2021.

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.  
**Financing.** The study had no sponsorship.  
**Contribution.** Article was prepared with equal participation of the authors.  
**Article received:** 23.12.2020. Accepted for publication: 20.01.2021.