

© КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ, 2017

УДК 613.648-084

Уйба В.В.¹, Самойлов А.С.², Ильин Л.А.², Коренков И.П.²**РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПЕРСОНАЛА МЕДИЦИНСКИХ И ПРОМЫШЛЕННЫХ УЧРЕЖДЕНИЙ (1945–2016 гг.)**¹Федеральное медико-биологическое агентство России, 123182, Москва;²ФГБУ «Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна» ФМБА России, 123182, Москва

Приводится исторический анализ использования источников ионизирующих излучений в медицине и промышленности на ранних этапах развития радиационной техники до настоящего времени. Ретроспективная (1945–1960 гг.) оценка доз облучения персонала рентгенодиагностического кабинета (использование открытых и закрытых рентгеновских трубок) и персонала дефектоскопических лабораторий (использование цанговых захватов и нестандартных дефектоскопов) показали значительное превышение допустимых значений, существующих в указанный период времени. Показано, что в настоящее время существующая система защиты персонала медицинских и промышленных учреждений отвечает современным требованиям, а уровни облучения значительно ниже допустимых величин, установленных НРБ-99/2009. Показано, что при интервенционных методах исследования существуют проблемы дальнейшего совершенствования системы безопасности персонала, в первую очередь, разработки технических решений защиты хрусталика глаз.

Ключевые слова: безопасность персонала; доза облучения; ретроспективная оценка; рентгенология; интервенционные исследования; дефектоскопия.

Для цитирования: Уйба В.В., Самойлов А.С., Ильин Л.А., Коренков И.П. Радиационная безопасность персонала медицинских и промышленных учреждений (1945–2016 гг.). *Гигиена и санитария*. 2017; 96(9): 801-809. DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-9-801-809>

Для корреспонденции: Коренков Игорь Петрович, д-р биол. наук, канд. техн. наук, проф., гл. науч. сотр. ФГБУ «Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна» ФМБА России, 123182, Москва. E-mail: korenkovip@yandex.ru

Uiba V.V.¹, Samoylov A.S.², Ilin L.A.², Korenkov I.P.²**RADIATION SAFETY OF THE PERSONNEL OF MEDICAL AND INDUSTRIAL ESTABLISHMENTS (1945-2016)**¹Federal Medical Biological Agency, Moscow, 123182, Russian Federation²A.I. Burnazyan Federal Medical Biophysical Centre, Moscow, 123182, Russian Federation

In this article, the historical analysis of the application of ionizing radiation sources in medicine and industry from the early stages of the development of radiation technology to the present day is shown. A retrospective (1945-1960) assessment of the personnel radiation doses in the X-ray diagnostic department (the use of open and closed X-ray tubes) and of the personnel of flaw detection laboratories (using collet grips and non-standard flaw detectors) showed a significant exceeding of the permissible values existing at that period of time. For the time present the existing system for the protection of personnel in medical and industrial establishments is shown to meet modern requirements, and the exposure levels are well below the permissible values established by RSB (Radiation Safety Norms)-99/2009. In intervention methods of research problems of further improvement of the personnel safety system are shown to exist, first of all, the development of technical solutions for the protection of the lens is required.

Key words: personnel safety; radiation dose; retrospective evaluation; roentgenology; interventional studies; flaw detection.

For citation: Uiba V.V., Samoylov A.S., Ilin L.A., Korenkov I.P. Radiation safety of the personnel of medical and industrial establishments (1945-2016). *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)* 2017; 96(9): 801-809. (In Russ.). DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-9-801-809>

For correspondence: *Vladimir V. Uiba*, MD, PhD, DSci., professor, the head of the Federal Medical Biological Agency, Moscow, 123182, Russian Federation. E-mail: fmbaros.ru

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgement. The study had no sponsorship.

Received: 20 June 2017

Accepted: 05 July 2017

Проблеме обеспечения радиационной безопасности персонала медицинских и промышленных учреждений посвящены многочисленные исследования как в нашей стране, так и за рубежом. Все эти работы касались, как правило, периода с 1960 г. по настоящее время.

Однако исследований, посвящённых ретроспективной оценке доз облучения персонала, работающего на ранних этапах развития и внедрения радиационной техники, практически не проводилось.

Цель настоящей работы – анализ состояния радиационной безопасности в СССР (России) за период с 1945 г. по настоящее время и с использованием экспериментальных мате-

риалов по ретроспективной оценке доз облучения персонала за период с 1945 по 1960 г.

Особенно следует подчеркнуть, что материалы по ретроспективной оценке доз облучения медицинского персонала по известной причине не были опубликованы и представляются авторами этой статьи впервые.

Краткая характеристика методов лечения и диагностики¹:

- лучевая терапия (дистанционная и контактная);
- радионуклидная диагностика (*in vivo*, *in vitro*);

¹ До 1950 г. применялась дистанционная и контактная терапия (рентгеноскопия и рентгенография).

Таблица 1 Радионуклидная терапия

Дозы облучения медицинского персонала, осуществляющего внутрисполостную и внутритканевую терапию при линейной схеме технологического процесса (мГр/год)

Специалист	Годы	МНИРРИ	Больницы		
			№ 40	№ 57	№ 62
Врачи	1961–1964	17 ± 1–20 ± 4	21 ± 2–25 ± 2	16 ± 2–18 ± 4	16 ± 3
	1965–1969	11 ± 1–13 ± 1	13,0 ± 2,5–16 ± 2	13 ± 1–14 ± 3	13 ± 2
Медицинские сестры	1961–1964	3 ± 1–7 ± 1	20 ± 1–39 ± 2	21 ± 1–39 ± 2	21 ± 1
	1965–1969	12 ± 2–7 ± 1	14 ± 1–7 ± 1	16 ± 1–19 ± 2	15 ± 1–19 ± 2
Санитарки	1961–1964	–	12 ± 1–13 ± 1	11,0 ± 0,5–13 ± 1	11,0 ± 0,2
	1965–1969	5,0 ± 0,5–7 ± 1	9 ± 1–10,0 ± 0,7	8 ± 1	8 ± 1–9 ± 1

- радионуклидная терапия;
- рентгенология (рентгенография, рентгеноскопия);
- интервенционная радиология (ИР-процедуры или сложные исследования).

Лучевая терапия

Лучевая терапия дистанционная используется для лечения онкологических больных с помощью рентгенодиагностических и гамма-терапевтических аппаратов, ускорителей электронов и т. д.

Проблемы обеспечения радиационной безопасности при таком методе решаются за счёт планировочных подходов (двухкомпонентная планировка – зал для облучения и пультовая). Персонал контактирует с источниками ионизирующего излучения только при укладке пациентов, поэтому уровни облучения персонала, практически с 1960 г., не превышают 1/20 допустимых величин. При использовании контактных методов (внутриполостная терапия, внутритканевая) персонал непосредственно контактирует с источниками облучения, вводя их в полости или ткани больного. В этих случаях вопросы защиты персонала решались за счёт планировочных подходов, сокращения времени контакта с источниками, увеличения расстояния между персоналом и пациентами.

Среднегодовая доза облучения медицинского персонала, осуществляющего внутрисполостную и внутритканевую терапию, некоторых учреждений Москвы в период с 1961 по 1969 г. приведена в табл. 1.

Как видно из табл. 1, уровни облучения сотрудников колеблются от 0,3 до 2,1 рад/год, что составляет 1/8–2,5 от допустимых величин, установленных НРБ-69. В настоящее время уровни облучения медицинского персонала не превышают 5 мЗв/год [11].

Радионуклидная диагностика (*in vivo*, *in vitro*)

Сущность исследования состоит в изучении распределения радиофармпрепарата (РФП) в организме после его введения. Радиационная безопасность при традиционных методах радиодиагностики решена за счёт низких вводимых активностей до 5 МБк и малым временем контакта персонала и пациента.

Дозы облучения в 1965–1970 гг. не превышали 0,5 рад/год. С внедрением генераторов короткоживущих изотопов за период с 1970 по 1985 г. индивидуальные дозы облучения увеличились до 0,8–1,0 рад/год.

Но в настоящее время с появлением высокой технологии и серийно выпускаемых технологий для позитронной эмиссионной томографии (ПЭТ), позволяющих получить ультракороткоживущие радионуклиды непосредственно в клиническом центре, уровни внешнего облучения медперсонала колебались от 3 до 5 мЗв/год [5].

До 1980 г. в медицинской практике использовались препараты ^{32}P , ^{131}I и ^{158}Au . Растворимые соединения ^{32}P и ^{131}I вводились перорально в расчёте на естественное накопление их в критическом органе, а коллоиды золота (^{158}Au) – непосредственно в ткани опухоли и другие патологические очаги.

Основные радиационно-опасные операции: получение, хранение, вскрытие транспортного контейнера, фасовка, ведение и обслуживание больных.

Проведённая авторами статьи оценка доз облучения персонала (с 1964 по 1994 г.) показала, что уровни облучения колебались от 10 до 5 мрад/год (1994) [5, 11]. С 1994 до 2016 г. эти значения не превышали 3–5 мЗв/год [11].

Ретроспективная оценка доз облучения персонала рентгенодиагностических кабинетов в 1945–1955 гг.

Проблемам радиационной безопасности персонала при проведении рентгенодиагностических процедур посвящены многочисленные исследования, в т. ч. В. Лоуренца [6], W. Konig [7], В.Я. Голикова [3], L. Larsson [8], В.И. Иванова, И.П. Коренкова [10], S. Osborn [9]. В этих работах изучены дозные поля в зависимости от режима работы рентгеновской трубки, положения ее штатива, типа исследований и других факторов. Обобщенные данные о величинах мощности доз, полученные на основе литературных и собственных материалов, показали, что в процессе работы даже в одном рентгеновском кабинете продолжительность исследования колеблется в широких пределах, варьирует напряженность и сила тока, а при специальных методах исследований меняется расположение рабочих мест рентгенологов, врачей, анестезиологов.

Первые отечественные работы по оценке условий труда медицинского персонала рентгенодиагностических кабинетов были выполнены еще в начале 30-х годов прошлого столетия. Для своего времени эти исследования являлись передовыми, тем более что в некоторых из них была дана комплексная оценка условий труда, включая и нерадиационные факторы. При этом необходимо особо упомянуть работу В.В. Дмоховского и Л.В. Рязанского, в которой на основе обширных хронометрических данных была определена средняя продолжительность основных рентгенодиагностических процедур, оценены условия труда и намечены основные пути обеспечения радиационной безопасности. В этих и более поздних работах дозовые нагрузки определяли расчётным путём, что позволяло лишь ориентировочно оценивать величины доз облучения.

Тем не менее, получение такой информации было необходимо для характеристики условий формирования заболеваний у рентгенологов, длительное время (25 и более лет), работающих с ионизирующими излучениями, так как основная дозовая нагрузка приходилась на ранний период их профессиональной деятельности. Учитывая вышеизложенное, авторами была проведена ретроспективная оценка доз облучения персонала рентгенодиагностических кабинетов в период 1945–1955 гг.

Для моделей были выбраны открытые диагностические трубки «УДВ-110» с водяным охлаждением (выпуск 1945–1950 гг.) и защитные трубки «РДВ-100» (выпуск 1950–1955 гг.) (рис. 1 а, б). Всего были использованы 5 открытых и 5 закрытых рентгенодиагностических трубок. Трубки подключали к рентгенодиагностическому аппарату, выпускаемому заводом

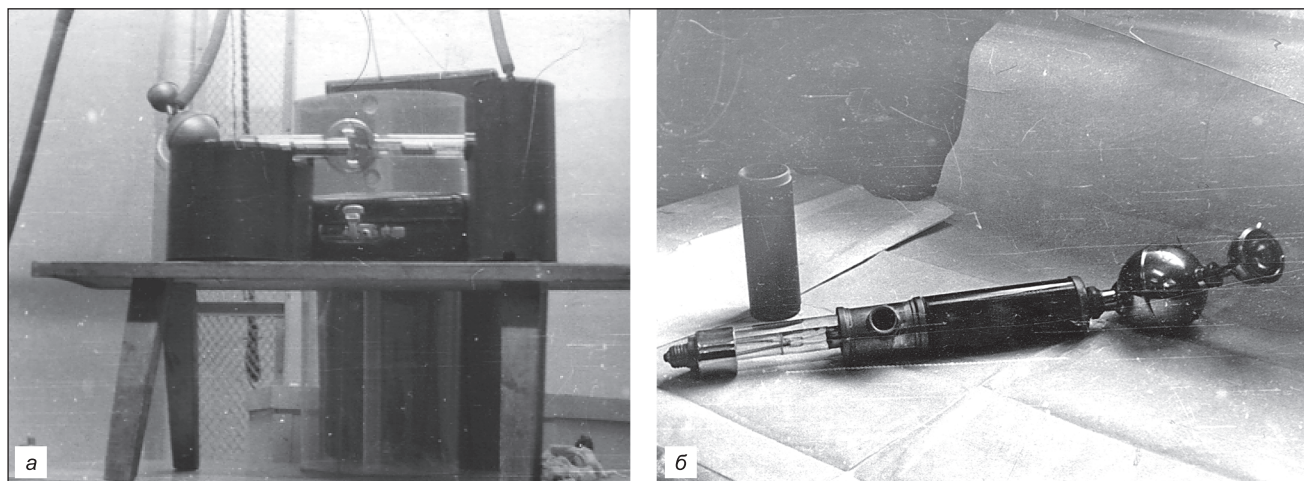


Рис. 1. Рентгенодиагностические трубки, открытые и закрытые (1945–1955 гг.).

«Буревестник», и эксплуатировали в режиме с напряжением 30–90 кВ и током 4 мА.

В качестве рассеивающего тела был использован фантом тела человека (полый цилиндр из тонкостенного оргстекла), заполненный водой; расстояние между трубкой и фантомом составляла 10 см. Ретроспективная оценка доз облучения персонала рентгенодиагностических кабинетов была осуществлена на заводе «Мосрентген». Измерения мощностей проводились на уровне головы, таза, локтей и лодыжек. Аналогичные точки были выбраны и на рабочем месте рентгено-лаборанта. Кроме того, были сняты изодозы в помещении рентгенодиагностического кабинета на высоте 1,0 и 1,5 м от пола.

Результаты дозиметрических исследований для горизонтального и вертикального положения трубок с погрешностью, не превышающей $\pm 10\%$, представлены в табл. 2.

Из табл. 2 видно, что при использовании открытых трубок интенсивность излучения на рабочем месте врача-рентгенолога в 2–3 раза выше, чем при эксплуатации защищённых трубок.

При вертикальном положении открытых трубок мощность дозы на рабочем месте врача-рентгенолога в 8–10 раз выше, чем при работе с защищенной трубкой. При перемене

положения открытых трубок (вертикальное и горизонтальное) мощность на рабочем месте врача изменяется в 2 раза, а для закрытых трубок – в 5 раз.

Отметим, что в 1945–1955 гг. количество рентгенографических исследований было весьма незначительным, не более 5–10% от числа рентгеноскопических процедур. Рентгеноскопические исследования, как правило, осуществлялись при вертикальном расположении трубок, а рентгенографические – при горизонтальном. Зная нормы приема и продолжительность исследований, можно провести ретроспективную оценку доз облучения персонала. В рассматриваемый период для врача в поликлиниках нормы приема составляли 30 больных, или 42 рентгеноединицы за одну смену (27 просвечиваний грудной клетки и 3 рентгеноскопии ЖКТ).

На основании литературных данных и результатов наших исследований средняя продолжительность просвечивания грудной клетки составляла 60 ± 10 сек. Рентгенологическое исследование ЖКТ занимало 150 ± 50 сек. Режим работы при исследовании составлял 70–80 кВ, 4 мА.

Расчётные значения доз, полученные на основе указанных данных, представлены в табл. 3.

Из данных табл. 3 следует, что при эксплуатации открытых трубок дневная доза облучения врачей-рентгенологов

Таблица 2

Мощность дозы рентгеновского излучения на рабочем месте врача-рентгенолога при горизонтальном (Г) и вертикальном (В) положениях трубок (сила тока 4 мА)

Тип трубки	Напряжение, кВ	Мощность дозы, мР/ч									
		голова		грудь		таз		локти			
								левый		правый	
		Г	В	Г	В	Г	В	Г	В	Г	В
Открытая	30	110	100	80	30	15	18	370	400	75	400
	40	360	360	250	280	61	30	1450	1400	320	1300
	50	650	720	525	650	95	55	2800	2700	600	7000
	70	2100	2500	1400	2200	600	210	6750	7700	1300	9500
	90	4350	5600	3500	5000	1000	490	16 500	14 800	3000	14 100
Закрытая	30	40	12	36	10	18	6	90	1	93	100
	40	100	24	80	12	46	7	150	35	200	450
	50	260	65	200	48	50	24	400	40	600	900
	70	750	240	600	200	150	60	2900	140	2400	2000
	90	1000	640	900	480	360	90	4700	600	4800	4800

Таблица 3

Доза облучения персонала рентгенодиагностических кабинетов в 1945–1955 гг.

Структура приема	Число процедур	Тип трубки	Период, годы	Доза облучения, мрад/день	
				голова	грудь
Исследования грудной клетки	27	Открытая	1945–1950	1700	1600
Рентгеноскопия ЖКТ	3			500	400
Итого за день	30			2200	2000
Исследования грудной клетки	27	Закрытая	1951–1955	130	80
Рентгеноскопия ЖКТ	3			30	20
Итого за день	30			160	100

составляла примерно 2,0 рад, а при работе с защищенными трубками – 0,1 рад. Таким образом, доза облучения врача-рентгенолога в 1945–1950 гг. достигала 600 ± 100 рад/год, а в 1951–1955 гг. – 30 ± 5 рад/год.

К сожалению, полученные нами данные (1970 год) не были опубликованы в открытой печати, хотя американские ученые гораздо позже опубликовали свои материалы по ретроспективной оценке об уровнях облучения рентгенологов, которые в период с 1930 по 1945 г. составляли порядка 1000 рад/год.

Полученные материалы были использованы в клинике ФГБНУ «Научно-исследовательский институт медицины труда» для ретроспективной оценки состояния здоровья 400 сотрудников рентгенодиагностических кабинетов, работавших в 1945–1955 гг.

По данным этих клинических наблюдений установлено, что в период наиболее неблагоприятных условий труда (1945–1955 гг.) и накопление основной доли суммарной дозы облучения у 55% контролируемых лиц возникала лейкопения и 41% – тромбоцитопения. Наряду с изменениями показателей периферической крови многие обследуемые указывали на ухудшение общего самочувствия (повышенная утомляемость, головные боли, общая слабость). У этой группы лиц была отмечена отчетливая склонность к гипотоническим реакциям, выявлены нарушения в липидном, белковом и

Среднегодовые дозы облучения персонала, проводящего сложные рентгенодиагностические исследования, рад/год [5]

Специалист	Год					
	1964	1966	1967–1970	1971–1974	1975–1979	1950–1980
<i>Бронхография</i>						
Рентгенохирург	–	–	$2,7 \pm 0,2$	$2,4 \pm 0,2$	$2,3 \pm 0,1$	$1,6 \pm 0,2$
Анестезиолог	–	–	$3,0 \pm 0,3$	$2,3 \pm 0,2$	$2,2 \pm 0,2$	$1,6 \pm 0,2$
Рентгенолаборант*	–	–	$0,80 \pm 0,05$	$0,70 \pm 0,05$	$0,5 \pm 0,1$	0,3
<i>Травматологические исследования</i>						
Рентгенохирург	$6,0 \pm 1,0$	$3,0 \pm 0,2$	$2,8 \pm 0,1$	$2,5 \pm 0,2$	$2,5 \pm 0,2$	$1,5 \pm 0,1$
Анестезиолог	$5,0 \pm 0,3$	$2,8 \pm 0,2$	$2,8 \pm 0,1$	$2,7 \pm 0,1$	$2,6 \pm 0,1$	
<i>Ангиокардиография</i>						
Рентгенохирург	$5,0 \pm 0,5$	$2,7 \pm 0,2$	$2,3 \pm 0,1$	$1,8 \pm 0,1$	$2,0 \pm 0,2$	$1,0 \pm 0,2$
Анестезиолог	$4,5 \pm 0,3$	$3,2 \pm 0,2$	$2,6 \pm 0,1$	$2,4 \pm 0,2$	$2,3 \pm 0,1$	$1,0 \pm 0,2$
Медицинские сестры	$2,0 \pm 0,3$	$1,2 \pm 0,1$	$0,80 \pm 0,05$	$0,6 \pm 0,1$	$0,7 \pm 0,1$	0,3

Примечание. * – Уровень облучения рентгенолаборантов сопоставим и не зависит от видов исследований.

глокопротеидном обмене. Установленные отклонения согласуются с данными Козловой А.В. с соавт., которые выполняли наблюдения в 1945–1955 гг., но без учета дозовых нагрузок.

Интервенционная радиология

Интервенционная радиология – сочетание в одной процедуре рентгенологических и лечебных исследований.

На первом этапе с помощью рентгенологических исследований определяется характер и распространение поражения. На втором – не прерывая исследования, рентгенохирург выполняет лечебные манипуляции, вводя специальные инструменты: иглы, катетеры зондов, стэнды и т. д.)

В этих исследованиях принимали участие специалисты различного профиля: рентгенохирурги, анестезиологи, медсестры, врачи-рентгенологи. Среднегодовые дозы облучения приведены в табл. 4.

Как видно из представленных данных в табл. 4, уровни облучения хирургов и анестезиологов снизились в 5–6 раз за период с 1964 по 1985 г.

В настоящее время реальные дозы облучения отдельных органов и всего тела рентгенохирургов и других исполнителей остаются высокими и варьируются в широких пределах: голова – 3–450 мкЗв, область таза – 0,1–32 мкЗв, кисти рук – 48–1300 мкЗв за процедуру. При этом доза облучения рук слабо коррелируется с продолжительностью рентгеновских исследований вследствие постоянного изменения положения рук рентгенохирургов в ходе выполнения ИР-процедуры. По статистическим данным, доза облучения рентгенохирургов редко превышает 10 мЗв/год, оставаясь в среднем равной 2–4 мЗв/год [11].

Если эффективная доза для хирургов-рентгенологов ниже установленных нормативов в 3–5 раз, то реальные дозы за облучение хрусталика глаз при проведении 70–100 исследований в год сравнимы с соответствующими нормативными. Отсюда следует необходимость в дополнительных мерах защиты глаз с помощью очков с просвинцованными стёклами, создании специальных модельных защитных устройств. МКРЗ приняло решение об ужесточении предела дозы профессионального облучения глаз со 150 до 20 мЗв/год. Очевидно, что Российская национальная комиссия по радиационной защите внесёт соответствующие изменения в НРБ-99/2009.

Таблица 4

Применение источников ионизирующих излучений в промышленности

В промышленности наибольшее распространение получили следующие методы:

- гамма- и рентгеновская дефектоскопия (стационарная и переносная);
- технологический контроль с помощью радиоизотопных приборов.

Оценка степени потенциальной опасности при гамма- и рентгеновской дефектоскопии осуществлялась авторами статьи по системе, представленной в общем виде на рис. 2. Эта система состоит из двух подсистем: средства снижения уровня облучения и средства контроля [17].

В подсистеме «Средства снижения уровней облучения» большое внимание уделяется: при стационарных методах просвечивания – радиационной защите

помещений, блокировке, сигнализации и планировочным решениям; при проведении переносной дефектоскопии – радиационной защите установок, организационным мероприятиям по обеспечению радиационной безопасности персонала и отдельных лиц из населения.

В подсистеме «Средства контроля» основное внимание уделяется экспертизе технических заданий и проектов строительства, контролю качества защитных сооружений и эффективности защиты дефектоскопических аппаратов, а также радиационному контролю (оценке индивидуальных и коллективных доз облучения, уровней излучения на рабочих местах и в смежных помещениях, оценке эффективности радиационной защиты помещений, предназначенных для просвечивания, проверке исправности систем блокировок и сигнализации) [17].

Многолетний анализ авторов этой статьи и литературных данных по оценке индивидуальных доз облучения персонала, осуществляющего просвечивание в стационарных условиях, показал, что уровни облучения значительно ниже допустимых уровней, принятых в 1965–1985 гг. (табл. 5).

Таким образом, при нормальных условиях эксплуатации стационарных дефектоскопов проблема обеспечения радиационной безопасности практически решена.

Иная картина наблюдалась при проведении дефектоскопических работ с помощью переносных гамма-дефектоскопов, особенно в начальный период развития дефектоскопии, когда использовалось нестандартное оборудование, разрабатываемое каждой организацией, например, механические захваты и др.

В результате изучения особенности технологического процесса просвечивания, а также конструкций гамма-дефектоскопов, применяемых в 1950–1960 гг., установлено, что в практике дефектоскопии использовали в основном 2 метода просвечивания [18–24].

1. Работа с незащищенными источниками, для извлечения и установки которых применялись дистанционные механические манипуляторы ПСБ-1, ПСМ-1, ЗП, ЗЩ, представляющие собой самодержащиеся пинцеты или захват-щипцы, а также электромеханические и цанговые захваты ЭМЗ-1 и ЭМЗ-2 (рис. 3).

Эти методы просвечивания применялись преимущественно в 1950–1955 гг. Наряду с дистанционными манипуляторами для просвечивания изделий использовали также переносные установки ТРК-5, ТРК-2 с источниками ^{60}Co активностью 1–2 и 0,2–0,4 Ки соответственно (рис. 4 и 5).

2. Работа с использованием дефектоскопов с препаратами малой (менее 0,5 Ки) активности (КС-5, КС-6, КС-7, РК-1, ЛИВТ и др.) и позднее, в 1962–1963 гг. с серийно выпускаемыми дефектоскопами ГУП-Сs-2-1, ГУП-Тm-0,2-3 и др.

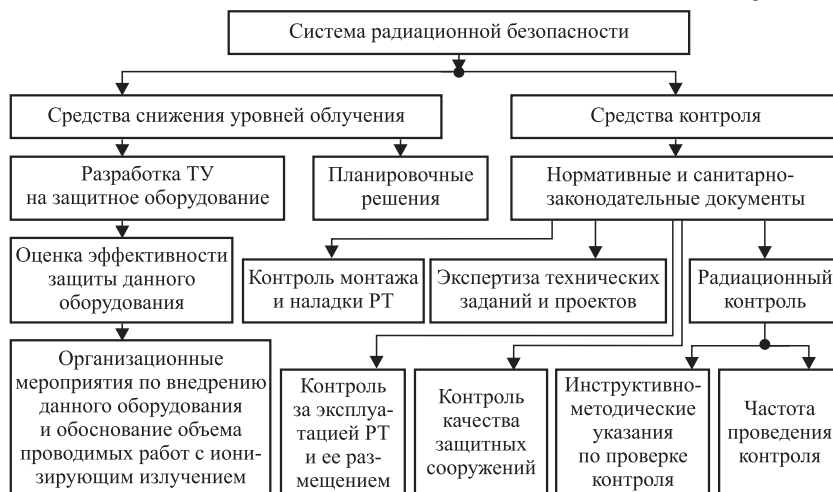


Рис. 2. Система обеспечения радиационной безопасности при промышленной дефектоскопии.

При проведении просвечивания с помощью незащищённой ампулы экранирующий контейнер использовался только для транспортировки излучателя от хранилища к месту работ и обратно. Извлечение источника из контейнера и установка его на просвечиваемые изделия осуществлялись манипуляторами длиной 0,5–0,6 м. Обычно применялись источники ^{60}Co активностью 0,1–0,2 Ки. Технологический процесс просвечивания включал 3 радиационно опасные процедуры: извлечение ампулы из контейнера при помощи магнитного держателя или резинового жгута, просвечивание изделий, возврат ампулы в транспортный контейнер.

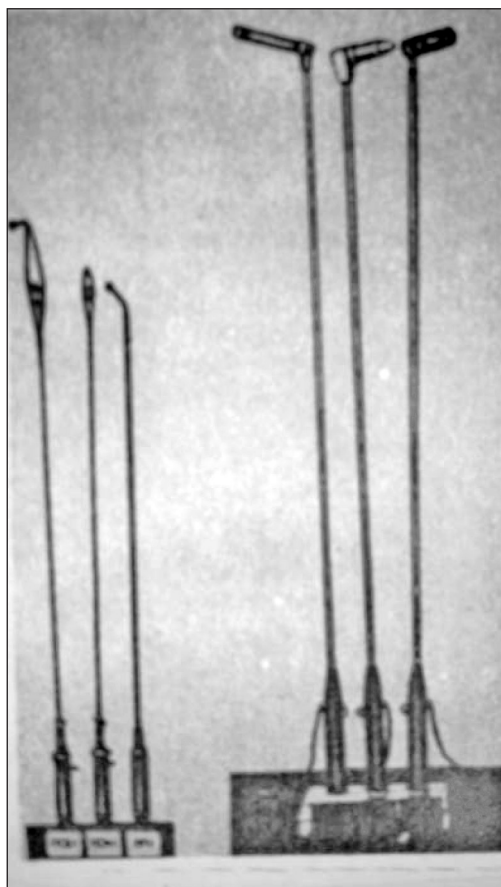


Рис. 3. Механические захваты для проведения работ по гамма-дефектоскопии.

Таблица 5

Распределение доз облучения персонала, осуществляющих просвечивание в стационарных условиях

Доза облучения, мрад/год	Численность персонала	Относительное количество лиц, получивших дозу облучения в данном интервале, %
0–100	175	29,5
100–300	342	57,0
300–500	42	7,0
50–1000	38	6,5
1000–5000	–	–

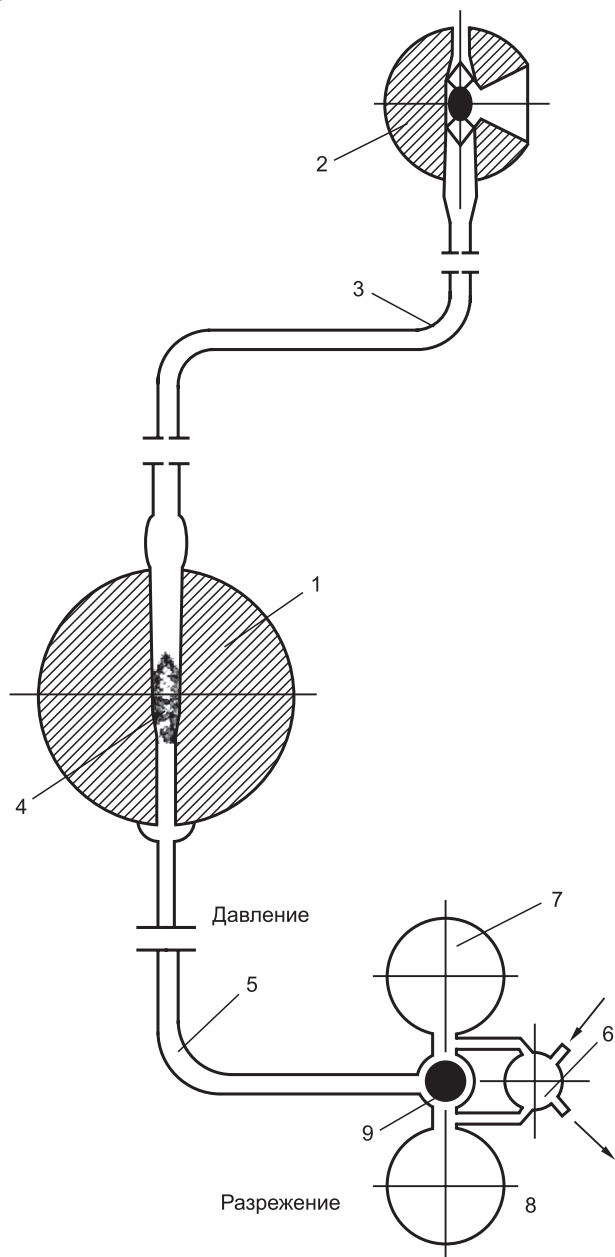


Рис. 4. Внешний вид при принципиальной схеме использования дефектоскопа типа ТРК:

1 – основной контейнер; 2 – вспомогательный контейнер; 3, 5 – трубопроводы; 4 – поршень; 6 – насос; 7, 8 – резиновые груши.

Для оценки доз облучения было проведено моделирование процессов просвечивания с применением методов дефектоскопии и аппаратуры, характерных для работ, проводимых в период с 1950 по 1955 г. Использовались шланговый манипулятор длиной 0,5 м, источник ^{60}Co активностью 0,1 Ки для панорамного просвечивания и свинцовый рабочий контейнер с толщиной стенок 25 мм. В качестве просвечиваемых изделий были выбраны трубы различного диаметра (150–300 мм). Результаты измерения мощностей доз на рабочих местах персонала при использовании шлангового манипулятора приведены в табл. 6.

Зная распределение интенсивности излучения на всех этапах технологического процесса и объём работ (7–8 стыков в день), были оценены дозы облучения персонала в 1950–1955 гг. Показано, что уровни облучения дефектоскопистов в этот период составляли 220 ± 20 мрад/день, а средние годовые дозы облучения достигали 55 ± 5 рад/год.

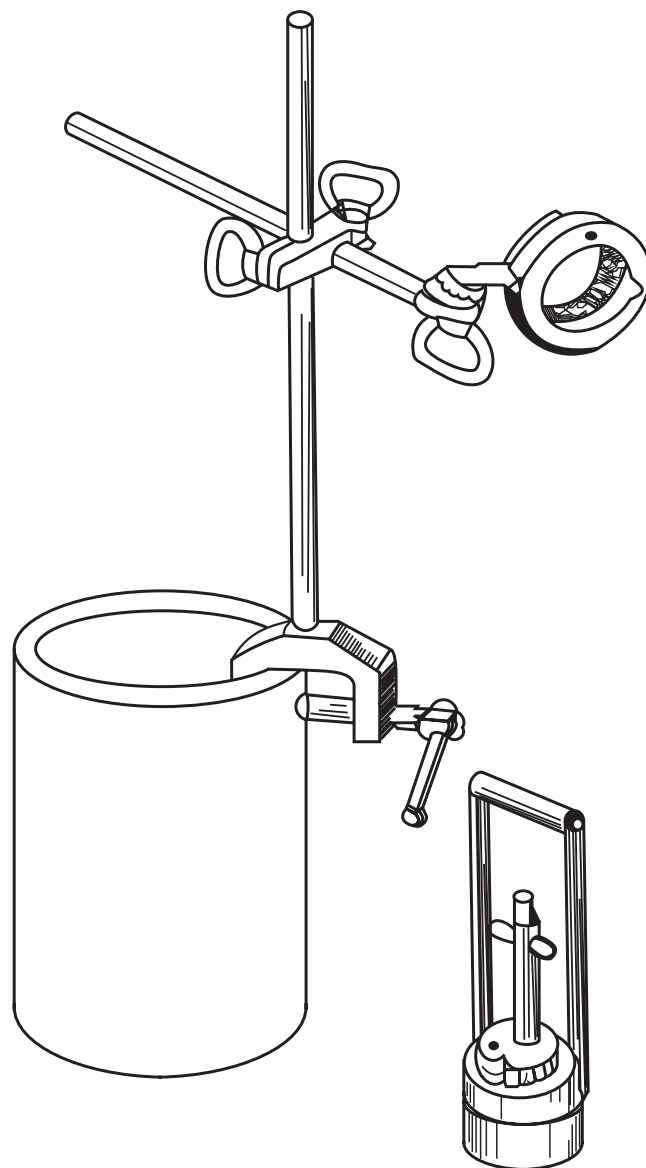


Рис. 5. Дефектоскоп типа ДВС-6 с выемным стаканом 192Ir (6 г.-экв. Ra).

Применение дефектоскопов ТРК-5 и ТРК-2 не сопровождалось существенным снижением радиационной опасности по сравнению с использованием незащищённых ампул в связи с большой продолжительностью транспортировки дефектоскопа к месту просвечивания (до 20 мин), крепления и установки аппарата (до 10–15 мин).

В 1956–1961 гг. при просвечивании изделий наиболее часто применяли дефектоскопические установки следующих типов:

- цилиндрический контейнер конструкции треста «Нефтепроводмонтаж» с револьверной подачей источника;
- эллипсоидный контейнер конструкции МГТУ им. Баумана;
- дефектоскопы КС-5, КС-6 и ДВС.

Наряду с источниками ^{60}Co в них стали использовать препараты ^{137}Cs с активностью до 5 Ки.

Для получения радиационных характеристик нестандартных гамма-дефектоскопов, применявшихся в 1960–1961 гг., нами были использованы материалы собственных исследований, полученных во время обследования дефектоскопических лабораторий, а также данные по моделированию технологических процессов просвечивания при использовании

стандартных аппаратов. Результаты представлены в табл. 7.

Используя данные о радиационных характеристиках дефектоскопических аппаратов, сведения о длительности отдельных операций технологического процесса, авторы статьи оценили дозу облучения персонала в 1955–1961 гг. Эта доза оказалась равной 45 ± 2 мрад/день (11 ± 1 рад/год).

Таким образом, на основе моделирования технологических процессов просвечивания, проводившихся на ранних этапах использования ионизирующих излучений, было установлено, что дозы облучения персонала в период с 1950 по 1955 г. составляли 55 ± 5 рад/год, в 1955–1961 гг. – 11 ± 1 рад/год.

После 1962 г. уровни облучения существенно снизились, что наглядно демонстрирует табл. 8.

Уменьшение дозовых нагрузок в 5 раз по сравнению с 1962 г. обусловлено в основном следующими факторами: изъятием аппаратов нестандартной конструкции, полной заменой нуклидов с высокой энергией фотонов (^{60}Co), применяемых в переносных дефектоскопах, низкоэнергетическими (^{170}Tm , ^{75}Se), разработкой более совершенных конструкций дефектоскопов и эффективной работой органов санитарного надзора (нормирование объема работ, укрупнение лабораторий).

В 1962 г. дозы облучения персонала составляли 10–11 рад/год при использовании источников ^{60}Co и 3–4 рад/год – при ^{137}Cs . В настоящее время уровни дефектоскопистов при работе с ^{75}Se и ^{170}Tm варьируются от 0,6 до 0,8 рад/год, а с ^{137}Cs и ^{192}Ir – от 0,6 до 1,5 рад/год.

Установлено, что распределение дозовых нагрузок персонала дефектоскопических лабораторий подчиняется логнормальному закону распределения, средняя геометрическая доза ДД = 1,68 рад и стандартное отклонение $\sigma = 2,5$. Следует отметить, что уровни облучения области ноги и таза в 1,2–1,5, а кисти рук в 10–15 раз выше уровня облучения грудной клетки. Дозы облучения кистей составляют 15 ± 2 рад/год.

Уровни облучения персонала в 1978–1980 гг. существенно не изменились и составили $1,6 \pm 0,2$ рад/год для персонала, проводящего просвечивание, и менее 0,3 рад – для водителей автотранспорта, а с 1980 г. уровни облучения снизились до 0,6 рад/год в 2014 г.

Таблица 7

Характеристики гамма-дефектоскопов

Предприятие	Нуклид	Активность источника, Ки	Мощность дозы, мкР/с
Трест «Оргпроекттехмонтаж»	^{60}Co	0,2	110
	^{60}Co	0,6	1800
	^{60}Co	0,6	80
Тресты «Мосподземстрой» № 1, № 2	^{137}Cs	5,0	400
	^{137}Cs	5,0	50
Трест «Оргэнергбум»	^{60}Co	5,0	80
	^{152}Eu	15,0	100
Трест «Оргэнергбум»	^{60}Co	0,6	400
	^{60}Co	0,6	1000
Трест «Стальмонтаж»	^{137}Cs	5,0	70
	^{137}Cs	5,0	1100
Трест №7 «Минспецмонтаж»	^{137}Cs	5,0	300
	^{137}Cs	1,5–2,5	310

Максимальные мощности дозы гамма-излучения при выполнении различных операций с использованием шлангового манипулятора и источника ^{60}Co активностью 0,1 Ки

Операция	Продолжительность операции	Мощность дозы, мкР/с	Доза за операцию, мР
Извлечение рабочего контейнера из хранилища	10–15 с	16	0,16–0,24 (0,2)
Укладка рабочего контейнера в транспорт	10–20 с	200	2,0–4,0 (3,0)
Транспортировка* на автомашине (туда и обратно)	2–3 ч	4	28–44 (36)
Установка рабочего контейнера на просвечиваемое изделие	30–60 с	200	6–12 (9)
Просвечивание изделий	20–30 с	250	5,0–7,5 (6,0)
Перекладка источника в контейнер	10 с	200	2,0
Извлечение контейнера из автомашины	10–15 с	200	2,0–3,0 (2,5)
Укладка контейнера в хранилище	10–15 с	200	2,0–3,0 (2,5)

Примечание. В скобках – средние значения доз за операцию. * – Процедура проводится один раз в день.

Следует отметить, что при одном и том же объеме работ существенное влияние на уровень облучения оказывает возраст сотрудников и стаж их работы. При стаже менее 3 лет (возраст до 35 лет) уровни облучения персонала в 2–2,5 раза выше, чем у сотрудников со стажем более 5 лет (возраст до 35 лет). [17]

Такая же зависимость отмечается и у сотрудников возрастной группы 50–60 лет (уровни их облучения в 2–2,5 раза выше, чем у персонала возрастной группы 25–40 лет). Это связано с тем, что персонал возрастной группы 50–60 лет затрачивает значительно большее время на транспортировку дефектоскопов и установку его на просвечиваемое изделие [17].

Полученные материалы по уровням облучения персонала, осуществляющего дефектоскопические работы в ранний период развития радиационной техники, были использованы проф. А.К. Гуськовой в клинике ФГБНУ «Научно-исследовательский институт медицины труда» при проведении углубленного обследования состояния здоровья дефектоскопистов [25–27].

Таблица 8

Среднегодовые дозы облучения персонала дефектоскопических лабораторий, рад

Год	Дефектоскописты	Водители автомашин	Год	Дефектоскописты	Водители автомашин
1962	$8 \pm 3,0$	$1,2 \pm 0,3$	1972	$2 \pm 0,2$	$> 0,3$
1963	$5 \pm 1,0$	$1 \pm 0,3$	1973	$1,8 \pm 0,1$	$> 0,3$
1964	$5 \pm 0,5$	$0,8 \pm 0,1$	1974	$1,8 \pm 0,1$	$> 0,3$
1965	$4 \pm 0,4$	$0,4 \pm 0,1$	1975	$1,6 \pm 0,2$	$> 0,3$
1966	$4 \pm 0,4$	$> 0,3$	1976	$1,7 \pm 0,3$	$> 0,3$
1967	$3,5 \pm 0,5$	$> 0,3$	1977	$1,6 \pm 0,2$	$> 0,3$
1968	$3,5 \pm 0,5$	$> 0,3$	1978	$1,6 \pm 0,2$	$> 0,3$
1969	$3 \pm 0,6$	$> 0,3$	1979	$1,6 \pm 0,2$	–
1970	$2,5 \pm 0,4$	$> 0,3$	1980	$1,5 \pm 0,3$	–
1971	$2 \pm 0,3$	$> 0,3$	2000	$1,0 \pm 0,2$	–
			2014	$0,6 \pm 0,1$	–

На основе данных авторов статьи было выделено три группы обследуемых: первая группа (стаж менее 5 лет) – доза облучения $D \leq 20$ рад; вторая группа (стаж от 5 до 10 лет) – $30 \leq D \leq 70$ рад; третья группа (стаж более 10 лет) – 400 рад (330 рад в период с 1950 по 1955 г. и 70 рад с 1956 по 1961 г.).

Среди всех обследуемых были проведены общесоматические и неврологические исследования, развёрнутые анализы периферической крови, а также дополнительные исследования органов дыхания, зрения и кожного покрова. Большинство дефектоскопистов признали практически здоровыми и трудоспособными, хотя почти все они (за исключением 59 человек) высказывали различные жалобы. Наиболее часто жаловались на головные боли, повышенную утомляемость, раздражительность. Однако у персонала третьей группы, работающего на ранних этапах развития радиационной техники, когда система была не столь эффективна, часто были случаи пониженного количества лейкоцитов и тромбоцитов крови.

У 40% обследованных той же группы содержание гемоглобина находилось в пределах 10–14%, у 18% было повышено число эритроцитов. У 3 обследованных наблюдались проявления хронической лучевой болезни I и II степени тяжести в стадии неполного восстановления, а у 6 дефектоскопистов отмечено местное острое лучевое поражение кистей, которое развилось в результате локального переоблучения. Эти лица повторно лечились в стационаре и были переведены на работу без контакта с ионизирующим излучением.

Заключение

Исторически сложившаяся в стране ситуация в области обеспечения радиационной безопасности предопределила неравнозначные пути решения этой проблемы в различных отраслях народного хозяйства.

Основные усилия в этой области были направлены на важнейшую государственно-значимую задачу – обеспечение радиационной безопасности персонала и населения в условиях развития атомной промышленности и энергетики.

Благодаря усилиям многочисленного отряда организаторов здравоохранения, ученых различных специальностей была создана такая система безопасности ядерной энергетики, которая в настоящее время является наиболее совершенной по сравнению с другими системами при данных формах трудовой хозяйственной деятельности человека (А.И. Бурназян, В.В. Бочкарёв, Е.И. Воробьёв, П.Д. Горизонтов, Н.Г. Гусев, Л.А. Ильин, Ф.Г. Кротков, В.А. Книжников, Г.М. Пархоменко, Р.В. Саяпина, Ю.В. Сивинцев, Н.Ю. Тарасенко, А.Д. Туркин, У.Я. Маргулис, И.П. Коренков, П.И. Моисейцев, В.П. Шапов и др.).

Вместе с тем, в некоторых иных областях применения ионизирующих излучений эта проблема не получила столь внушительного развития. Это в первую очередь не относилось к использованию ионизирующих излучений в медицине и дефектоскопии. В этих областях в первую очередь вопросы радиационной безопасности зачастую решались лишь благодаря энтузиазму отдельных учёных.

Достаточно отметить, что облучение персонала при проведении рентгенодиагностических процедур, а также при осуществлении дефектоскопических работ существенно превышает дозы облучения персонала, занятого в атомной промышленности.

В настоящее время, несмотря на то что радиационная безопасность медицинского персонала отвечает современным требованиям, некоторые проблемы требуют решения. Это в первую очередь обеспечение безопасности условий труда при интервенционных методах исследования, при которых персонал подвергается не только воздействию ионизирующих излучений, но и большим эмоциональным нагрузкам.

Уровни облучения медицинского персонала, осуществляющего сложные рентгенодиагностические исследования в

1970-х гг., практически остались на том же достаточно высоком уровне.

В настоящее время особое внимание необходимо обратить на технические решения защиты хрусталика глаз и внедрения в практику здравоохранения индивидуальных детекторов для оценки доз облучения хрусталика и кожи пациентов.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.
Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Литература (п.п. 7, 8 см. References)

1. Анкундинов В.В. Охрана труда рентгенотехников флюорографических кабинетов. *Медицинская радиология и радиационная безопасность*. 1960; (1): 84.
2. Викторина В.М., Гордон В.И. Некоторые вопросы организации труда и радиационная безопасность в рентгеновских кабинетах. *Вестник рентгенологии и радиологии*. 1962; (5): 49–54.
3. Голиков В.Я., Коренков И.П. Радиационная защита при использовании ионизирующих излучений в медицине. М.: Медицина, 1975.
4. Зубовский Г.А., Коренков И.П., Соколова Л.Л. Радиационная оценка условий труда персонала при использовании генераторов короткоживущих изотопов. *Гигиена и санитария*. 1973; 62(5): 44–51.
5. Коренков И.П., Кириллов В.Ф. Вопросы гигиены труда при работе с радиоактивными материалами. М.: Медицина; 1973.
6. Лоренц В. Радиационная защита медицинского персонала и больных. Пер с нем. М.: Медицина; 1966.
9. Иванов В.И., Коренков И.П., Салимов О.Н. Уровни облучения и оптимизация контроля различных профессиональных групп. *Атомная энергия*. 1980; 8(5): 317–319.
10. Ильин Л.А., Коренков И.П., Наркевич Б.Я. Радиационная гигиена. М.: ГЕОТАР-Медиа; 2017.
11. Дмоховский В.В., Рязанский И.Л. Практические указания к проектированию рентгеновских отделений. М.: Медицина; 1937.
12. Михайлов М.М., Павлов К.Н. Уровень профессионального облучения в рентгеновских кабинетах. *Трактаты Воронежского медицинского института*. 1956; (29): 41.
13. Лагунова И.Г., Чикирдин Э.Г., Ставицкий Р.В. Технические основы рентгеновской диагностики. М.: Медицина; 1973.
14. Козлова А.В., Маленкова К.М., Карибская Е.К. Клиника хронической лучевой болезни. В кн.: Тезисы секционных докладов Всесоюзной конференции по медицинской радиологии. М.; 1956.
15. Рубцов В.И., Ключков В.Н. Суворцев Н.А. и др. Совершенствование радиационной защиты медицинского персонала при проведении диагностических и лечебных процедур с использованием радионуклидов. *Медицинская радиология и радиационная безопасность*. 2016; 61(1): 17–22.
16. Коренков И.П. Дозиметрия ионизирующих излучений. М.: Атомиздат; 1986.
17. Соколов В.С., Лысенко А.Ф. Временные рабочие инструкции по контролю сварных соединений гамма-лучами радия. М.: Металлургиздат; 1947.
18. Румянцев С.В., Григорович Ю.А. Контроль качества металлов гамма-лучами. М.: Металлургиздат; 1954.
19. Тарасенко Н.Ю. Гигиена труда при гамма-дефектоскопии металлических изделий. М.: Медицина; 1960.
20. Цурков М.Е. Изучение радиационной защиты для новых рентгеновских и гамма-аппаратов. Отчет ВНИИОТ ВЦСПС. М.; 1962.
21. Эскин Х.А. Руководящий технический материал по обеспечению безопасности при гамма-дефектоскопии УБТИ. Куйбышев; 1964.
22. Румянцев С.В. Применение радиоактивных изотопов в промышленности. М.: Атомиздат; 1960.
23. Таточенко Л.К., Медведев С.В. Промышленная гамма-дефектоскопия. М.: Энергоиздат; 1955.
24. Гуськова А.К., Байсоголов Г.Д. Лучевая болезнь человека. М.; 1971.
25. Мусина Н.П. Состояние здоровья промышленных радиографистов в связи с комплексным влиянием на организм условий их труда: Автореф. дисс. ... канд. мед. наук. М.; 1973.
26. Соколова Л.Л. Опыт исследования ситуаций, связанных с повышенным облучением персонала от внешних источников излучения: Автореф. дисс. ... канд. мед. наук. М.; 1969.

References

1. Ankundinov V.V. Labor safety roentgenologists fluorography cabinets. *Meditsinskaya radiologiya i radiatsionnaya bezopasnost'*. 1960; (1): 84. (in Russian)
2. Viktorina V.M., Gordon V.I. Some issues of labor organization and radiation safety in X-ray rooms. *Vestnik rentgenologii i radiologii*. 1962; (5): 49–54. (in Russian)
3. Golikov V.Ya., Korenkov I.P. Radiation Protection when Using Ionizing Radiation in Medicine [Radiatsionnaya zashchita pri ispol'zovanii

- ioniziruyushchikh izlucheniyy v meditsine]. Moscow: Meditsina, 1975. (in Russian)
4. Zubovskiy G.A., Korenkov I.P., Sokolina L.L. Radiation estimation of working conditions of personnel using generators of short-lived isotopes. *Gigiena i sanitariya*. 1973; 62(5): 44–51. (in Russian)
 5. Korenkov I.P., Kirillov V.F. Occupational Health Issues when Working with Radioactive Materials [Voprosy gigieny truda pri rabote s radioaktivnymi materialami]. Moscow: Meditsina; 1973. (in Russian)
 6. Lorenz W. Strahlenschutz in Klinik und ärztlicher Praxis. Stuttgart: Georg Thieme Verlag; 1961. (in German)
 7. Larsson L.E. Radiation doses to patients and personal in modern roentgen diagnostic work. *Radiologica*. 1956; (46): 680–92.
 8. Osborn S. Radiation doses received by diagnostic X-ray workers. *Brit. J. Radiol.* 1955; 28(336): 650–61.
 9. Ivanov V.I., Korenkov I.P., Salimov O.N. Levels of exposure and optimization of control of various professional groups. *Atomnaya energiya*. 1980; 8(5): 317–9. (in Russian)
 10. Il'in L.A., Korenkov I.P., Narkevich B.Ya. Radiatsionnaya Gigiena [Radiation hygiene]. Moscow: GEOTAR-Media; 2017. (in Russian)
 11. Dmikhovskiy V.V., Ryazanskii I.L. Practical Guidance to the Design of X-ray Compartments [Prakticheskie ukazaniya k proektirovaniyu rentgenovskikh otdeleniy]. Moscow: Meditsina; 1937. (in Russian)
 12. Mikhaylov M.M., Pavlov K.N. Level of occupational exposure in X-ray rooms. *Traktaty Voronezhskogo meditsinskogo instituta*. 1956; (29): 41. (in Russian)
 13. Lagunova I.G., Chikirdin E.G., Stavitskiy R.V. Technical Fundamentals of X-ray Diagnostics [Tekhnicheskie osnovy rentgenovskoy diagnostiki]. Moscow: Meditsina; 1973. (in Russian)
 14. Kozlova A.V., Malenkova K.M., Karibskaya E.K. Clinic of chronic radiation sickness. In: Abstracts of the Sectional Reports of the All-Union Conference on Medical Radiology [Tezisy sektsionnykh dokladov Vsesoyuznoy Konferentsii po meditsinskoy radiologii]. Moscow; 1956. (in Russian)
 15. Rubtsov V.I., Klochkov V.N., Surovtsev N.A. et al Improving radiation safety of medical staff during diagnostic and treatment procedures with the application of radionuclides. *Medical Radiology and Radiation Safety*. 2016; 61(1): 17–22. (in Russian)
 16. Korenkov I.P. Dosimetry of Ionizing Radiation [Dozimetriya ioniziruyushchikh izlucheniyy]. Moscow: Atomizdat; 1986. (in Russian)
 17. Sokolov V.S., Lysenko A.F. Temporary Working Instructions for the Control of Welded Joints by Gamma Rays of Radium [Vremennyye rabochie instruktsii po kontrolyu svarykh soedineniy gamma-luchami radiya]. Moscow: Metallurgizdat; 1947. (in Russian)
 18. Rummyantsev S.V., Grigorovich Yu.A. Quality Control of Metals by Gamma Rays [Kontrol' kachestva metallov gamma-luchami]. Moscow: Metallurgizdat; 1954. (in Russian)
 19. Tarasenko N.Yu. Occupational Hygiene in Gamma-Defectoscopy of Metal Products [Gigiena truda pri gamma-defektoskopii metallicheskih izdeliy]. Moscow: Meditsina; 1960. (in Russian)
 20. Tsurkov M.E. Study of Radiation Protection for New X-ray and Gamma devices. Report VNIOT AUCCTU [Izuchenie radiatsionnoy zashchity dlya novykh rentgenovskikh i gamma-apparatov. Otchet VNIOT VTsSPS]. Moscow; 1962. (in Russian)
 21. Eskin Kh.A. Guidance Material on Safety in Gamma-ray Flaw Detection [Rukovodnyyashchiy tekhnicheskiy material po obespecheniyu bezopasnosti pri gamma-defektoskopii UBTI]. Kuybyshev; 1964. (in Russian)
 22. Rummyantsev S.V. The Use of Radioactive Isotopes in Industry [Primenenie radioaktivnykh izotopov v promyshlennosti]. Moscow: Atomizdat; 1960. (in Russian)
 23. Tatchenko L.K., Medvedev S.V. Industrial Gamma-ray Flaw Detection [Promyshlennaya gamma-defektoskopiya]. Moscow: Energoizdat; 1955. (in Russian)
 24. Gus'kova A.K., Baysogolov G.D. Radiation Disease of Man [Luchevaya bolezn' cheloveka]. Moscow; 1971. (in Russian)
 25. Musina N.P. The state of health of industrial radiographers in connection with the complex effect on the body of the conditions of their work: Diss. Moscow; 1973. (in Russian)
 26. Sokolina L.L. Experience in the study of situations associated with increased exposure of personnel from external radiation sources: Diss. Moscow; 1969. (in Russian)

Поступила 20.06.17

Принята к печати 05.07.17

© ИЛЬИН Л.А., 2017

УДК 614.896:323.28

Ильин Л.А.

РАДИОЛОГИЧЕСКИЙ И ЯДЕРНЫЙ ТЕРРОРИЗМ – МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ И ГИГИЕНИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ

ФГБУ «Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна» ФМБА России, 123182, Москва

Рассмотрены основные аспекты радиологического и ядерного терроризма. Отмечено, что сценарий ядерного терроризма, т. е. применение террористами ядерного оружия, маловероятен, в то время как угроза радиологического терроризма, связанного с использованием радиоактивных веществ с целью злонамеренного облучения людей, например, при подрыве «грязной бомбы» и последующем радиоактивном загрязнении среды обитания людей, или при скрытном адресном их применении, представляется весьма реальной. Обсуждены характер и последствия применения различных видов и источников ионизирующего излучения от альфа-активных радионуклидов до гамма-, гамма-бета или бета-излучателей при внешнем, внутреннем и контактном облучениях. Подчеркнуто, что критерием радиационного воздействия на человека является поглощённая доза облучения и мощность дозы излучения. При этом необходимо отметить, что в случае внешнего облучения человека характер облучения является тотальным (всего тела) или локальным (отдельных частей тела), а в случае внутреннего облучения учитываются особенности распределения и обмена в организме конкретного радионуклида.

В качестве эффектов радиационного воздействия рассматривают детерминированные эффекты (острую лучевую болезнь, местные лучевые поражения и хроническую лучевую болезнь) и стохастические эффекты (злокачественные опухоли и наследственные заболевания). При сравнении радиационной опасности различных путей воздействия в результате акта радиологического терроризма в общем случае на первое место ставится внешнее облучение, вторую позицию занимает внутреннее облучение за счёт ингаляционного поступления радионуклидов в организм или, в случае их взрывного диспергирования, – через раны или ожоговые поверхности; наименее значим пероральный путь поступления.

Анализ различных сценариев радиологического терроризма показывает, что количество пострадавших с детерминированными эффектами будет крайне невелико, при этом стохастические последствия не выйдут за пределы статистических колебаний спонтанных уровней злокачественных новообразований и наследственной