

ОЦЕНКА ВКЛАДА МЕДИЦИНСКОГО ОБЛУЧЕНИЯ В КАНЦЕРОГЕННЫЙ РИСК У РАБОТНИКОВ ПО «МАЯК»

Осипов М.В., Сокольников М.Э.

Цель исследования. Оценить вклад медицинского облучения в канцерогенный риск в когорте работников «ПО Маяк».

Материалы и методы. Исследование проведено в когорте работников ПО «Маяк», нанятых с 1948 по 1972 гг., с периодом наблюдения 60 лет. Данные о накопленной индивидуальной дозе рентгеновского облучения, а также дозе профессионального гамма-облучения получены из дозиметрической системы «Доза-2008». Данные о смертности получены из регистра причин смерти работников ПО «Маяк».

Результаты. Показана структура рентгенологических обследований в когорте, приведено обоснование выбора референтной дозы для анализа связи «доза-эффект», вычислены коэффициенты ИОР на единицу дозы медицинского и производственного облучения.

Выводы. Полученные оценки вклада медицинского облучения в канцерогенный риск могут быть использованы в целях нормирования уровней медицинского облучения.

Ключевые слова: когортное исследование, канцерогенный риск, медицинское облучение, доза медицинского облучения, избыточный относительный риск.

Контактный автор: Осипов М.В., ferrum76@mail.ru

Для цитирования: Осипов М.В., Сокольников М.Э. Оценка вклада медицинского облучения в канцерогенный риск у работников ПО «Маяк». REJR. 2016; 6 (2):72-79. DOI:10.21569/2222-7415-2016-6-2-72-79.

Статья получена: 11.02.2016

Статья принята: 29.02.2016

THE CONTRIBUTION OF MEDICAL EXPOSURE TO THE RISK OF CANCER AMONG "MAYAK" PERSONNEL

Osipov M.V., Sokolnikov M.E.

Purpose. To assess the contribution of medical exposure to cancerigenic risk in a cohort of "Mayak" workers.

Materials and methods. The study was conducted in a cohort of workers hired from 1948 to 1972 with 60 years follow-up period. Data on an individual X-ray dose, as well as professional gamma-dose, were obtained from the "Dose-2008" dosimetric system. Mortality data were obtained from the register of death causes of the "Mayak" workers.

Results. The structure of X-ray examinations in a cohort has been shown, the validation of choosing the reference dose for dose-response analysis has been provided and the excess relative risk (ERR) per unit dose of medical and industrial radiation have been calculated.

Conclusions. Received estimates of medical exposure contribution to carcinogenic risk can be used for the purpose to value the levels of medical exposure.

Keywords: cohort study, cancerigenic risk, medical exposure, dose of medical exposure, excess relative risk.

Corresponding author: Osipov M.V., ferrum76@mail.ru

For citation: Osipov M.V., Sokolnikov M.E. The contribution of medical exposure to

ФГУП «Южно-Уральский институт биофизики»
ФМБА РФ.
г. Озёрск, Россия.

Southern Urals
Biophysics Institute.
Ozersk, Russia.

Received: 11.02.2016

Accepted: 29.02.2016

Контроль уровней облучения персонала радиационно-опасных объектов является актуальной задачей радиационной защиты. Принимаемые меры по снижению уровней воздействия ионизирующего облучения на производстве позволяют снизить радиационные риски. Благодаря этому, в настоящее время уровни облучения персонала ПО «Маяк» в штатных ситуациях не превышают допустимых норм, находясь, в среднем, значительно ниже допустимых предельных значений [1, 2]. В то же время, пристального внимания заслуживает медицинское диагностическое облучение работников радиационно-опасных производств, уровни которого могут достигать аналогичных величин. При этом вклад медицинского облучения в риск развития стохастических эффектов воздействия производственного облучения до настоящего времени не изучен.

Проблема воздействия медицинского облучения достаточно актуальна в связи с возросшей доступностью рентгенологического обследования для населения, увеличением количества рентгеновских аппаратов и применением новых технологий (в основном, компьютерной томографии и интервенционной радиологии) [3]. Рост количества рентгенологических обследований населения, а также дозы медицинского облучения пациента за одно обследование обуславливают повышение уровней медицинского облучения населения, что вызывает необходимость принятия мер по предотвращению риска развития отдалённых последствий. В то же время, дозы медицинского облучения относятся к области малых и сверхмалых доз, оценка риска отдалённых последствий при которых по сей день является предметом научных дискуссий, что подчёркивает актуальность настоящего исследования.

Попытки оценки риска воздействия медицинского облучения уже неоднократно предпринимались учёными в России и за рубежом, результаты таких исследований опубликованы в отечественной и зарубежной литературе. Отдельного внимания заслуживают публикации, в которых описаны методы расчёта радиационного риска, а также предпринимались попытки нормирования уровней медицинского облучения [4 - 9]. Результаты исследований риска медицинского облучения обобщены в рекомендациях международной комиссии по радиационной защите [10]. Однако на сегодняшний день не существует единого подхода к оценке фактического вреда в результате проведения рентгенологического обследования, и, следовательно,

нет чёткого представления о том, какие уровни облучения являются опасными для здоровья в плане развития отдалённых стохастических эффектов у персонала радиационно-опасных предприятий и населения.

Цель исследования.

Целью нашего исследования являлась оценка вклада медицинского облучения в канцерогенный риск у персонала, подвергавшегося воздействию производственного облучения, на основе поглощённой органной дозы.

Материалы и методы.

Эпидемиологический анализ проведён методом когортного исследования. Данные для формирования когорты получены из регистра работников ПО «Маяк», созданного в лаборатории радиационной эпидемиологии ЮУрИБФ, содержащего информацию о жизненном статусе, профмаршруте, а также данные о нерадиационных факторах (курении, употреблении алкоголя и прочее). Информация о причине смерти была собрана из нескольких источников. Процедура сбора информации подробно описана [1, 7, 8].

В исследуемую когорту были включены 18948 работников основных производств (реакторного, радиохимического и плутониевого заводов), нанятых на работу в период с 1948 по 1972 гг. Период наблюдения за когортой составлял с 1948 по 2000 гг. Данное ограничение по периоду наблюдения обусловлено тем, что информация о медицинском облучении при флюорографических обследованиях работников на момент исследования введена в электронную базу данных по 2000 год включительно, в отличие от остальной дозиметрической информации, доступной для членов когорты в рамках используемой в исследовании дозиметрической системы «Доза-2008» по 2008 год.

Данные о годовых дозах внешнего облучения были получены службой радиационной безопасности ПО «Маяк» [11]. Доза внутреннего альфа-облучения от инкорпорированного плутония-239 была измерена по уровню естественной экскреции нуклида с мочой. Измерения проведены для 31,5% лиц, работавших в условиях контакта с плутонием на радиохимическом и плутониевом заводах [12]. Для остальных лиц, работавших в контакте с альфа-излучающими аэрозолями, но не имевших измеренной дозы внутреннего облучения, использовалась суррогатная переменная, позволяющая учесть уровни внутреннего облучения персонала в зависимости от места и возможного сценария облучения.

Рентгенологические процедуры выполнялись работникам на базе кабинетов лучевой диагностики стационара и поликлиник ЦМСЧ – 71 по единой методологии и с применением однотипной рентгеновской аппаратуры. На основании экспертных данных был составлен перечень всех рентгенологических обследований, которые выполнялись работникам за исследуемый период. В перечне содержится 16 различных локализаций, для которых выполнялись типовые рентгеновские обследования: рентгенография грудной клетки, черепа, периферических суставов, рентгеноскопия органов грудной клетки и брюшной полости, исследования с бариевым контрастом и прочие. Эти данные, переданные дозиметрической службе ПО «Маяк», позволили рассчитать поглощённую дозу облучения от рентгеновских процедур на различные органы.

Доза медицинского облучения, представленная в дозиметрической системе Доза-2008, была вычислена для каждого работника на основании имеющихся данных в медицинских книжках персонала о прохождении рентгенологических обследований с учётом вида исследования, типа рентгеновского аппарата и усреднённых значений заданных параметров (напряжение на рентгеновской трубке, экспозиция, кожно-фокусное расстояние, фильтрация, время исследования) согласно методологии [13].

Курение является важным нерадиационным фактором, влияющим на риск злокачественных новообразований (ЗНО) у работников исследуемой когорты. Информация о курении была получена из медицинских книжек персонала, курящими считались лица, в анамнезе которых хотя бы один раз имелось упоминание о курении. Среди работников основных производств 67,2% мужчин являлись курильщиками, в то время как среди женщин с имеющимися данными по курению только 3,4% подвергали себя воздействию данного фактора. Поскольку курение не одинаково распространено в исследуемой когорте для мужчин и женщин, в анализе этот фактор был учтён в зависимости от пола.

Моделирование избыточного относительного риска было выполнено с помощью программного модуля AMFIT пакета EPICURE [14]. Модель «фонового» риска была построена с учётом возраста, пола и индекса курения, а также с учётом изменения фоновой смертности с течением календарного времени. Для расчёта избыточного относительного риска (ИОР) на единицу дозы в модели использовалось следующее выражение:

$$\mu = \mu_0 * (1 + ERR), \text{ где}$$

μ – наблюдаемый показатель смертности в когорте на 1 человеко-год;

ERR – коэффициент избыточного относительного риска на 1 Гр накопленной дозы, являющийся суммой коэффициентов для каждого вида излучения.

Модель «фонового» риска представлена следующим соотношением:

$$\mu_0 = e(m + f + \ln [\text{age}/60]*m + \ln [\text{age}/60]*f + \text{smk}*m + \text{smk}*f + \text{ct}), \text{ где}$$

μ_0 – показатель «фоновой» смертности;

m, f – коэффициенты для учёта различий в смертности в зависимости от пола;

smk – коэффициент для учёта различий в смертности для курящих и некурящих;

ct – коэффициент для учёта изменения общего тренда фоновой смертности от ЗНО с течением времени.

В общем виде модель смертности в когорте выглядит следующим образом:

$$\mu(\text{sex}, \text{age}, \text{smk}, \text{ct}, D) = \mu_0(\text{sex}, \text{age}, \text{smk}, \text{ct}) * (1 + \text{ERRD}(\gamma) + \text{ERRD}(\alpha) + \text{ERRD}(\text{sur.}) + \text{ERRD}(\text{med})).$$

Данная модель позволяет рассчитать значения коэффициентов ИОР на 1 Гр поглощённой дозы для производственного внешнего гамма-облучения (ERRD(γ)) и внутреннего альфа-облучения (ERRD(α)) с учётом воздействия альфа-облучения для тех работников, дозы внутреннего облучения для которых не были измерены (ERRD(sur.)), а также оценить предполагаемый вклад дозы медицинского облучения в избыточный относительный риск.

В предыдущих наших исследованиях установлено, что оценка ИОР путём введения в модель линейного компонента, характеризующего дозу медицинского облучения от всех рентгенодиагностических процедур, искажается влиянием обратной причинно-следственной связи [8, 9]. В связи с этим было предложено оценить риск косвенным методом, основанным на предположении о равенстве коэффициентов качества рентгеновского и внешнего гамма-облучения [15]. Исходя из этого, полученный в модели коэффициент избыточного относительного риска, рассчитанный в исследуемой когорте для внешнего производственного гамма-облучения, будет характеризовать и величину ИОР на единицу дозы рентгеновского облучения. Различия состоят лишь в уровнях производственного и медицинского облучения работников.

Результаты.

Характеристика исследуемой когорты представлена в таблице №1.

Как следует из таблицы №1, жизненный статус установлен для большинства членов когорты, причём причина смерти известна более чем для 60% на дату окончания наблюдения. За период наблюдения в исследуемой группе от злокачественных новообразований умерло 2748 человек (21,9% от всех случаев смерти в исследуемой когорте), из них 94,1% солидных раков.

Более 30% из них составляют опухоли лёгкого, причём вклад каждого пола в смертность от рака лёгкого был различным. Данные о смертности в распределении по полу представлены в таблице №2.

Как видно из диаграммы, наиболее часто работники подвергались медицинскому облучению органов грудной клетки, причём более половины всех исследований (57%) принадлежит рентгеноскопии. Следующей по частоте встре-

Таблица №1. Характеристика процентного соотношения количества работников основных производств ПО «Маяк» 1948 – 1972 гг. найма.

Характеристика	Оба пола	%	Муж	%	Жен	%
Общее количество	18948	100,0	14179	74,8	4769	25,
Жизненный статус установлен	17808	94,0	13306	93,9	4502	94,4
Живы на конец наблюдения*	5288	29,7	3576	26,9	1712	38,0
Умерли на конец наблюдения*	12520	70,3	9730	73,1	2790	62,0
Потеряно из наблюдения	11 0	6,0	873	6,1	267	5,6

Примечание: * - для лиц с установленным жизненным статусом.

Доля злокачественных новообразований лёгкого среди солидных ЗНО у мужчин составила 35,7%, что в 2,4 раза превышает данный показатель у женщин в когорте. Как уже нами было установлено, доза медицинского облучения у таких работников выше, чем у умерших от опухолей других локализаций и прочих причин [8]. Это объясняется тем, что рентгеновское

чаемости являлась рентгенография органов грудной клетки – обзорная рентгенограмма в двух проекциях выполнялась в 15,4 % случаев. Таким образом, органы грудной клетки подвергались воздействию рентгеновских лучей в 72,4% случаев. Значительно реже встречались рентгенологические обследования суставов (8,2%) и желудка (7,6%). На долю всех осталь-

Таблица №2. Характеристика когорты в зависимости от причины смерти.

Группа причин смерти	Мужчины	%	Женщины	%	Оба пола	%
Общее количество	9730	73,1	2790	62,0	12520	70,3
Все ЗНО*	2134	21,9	614	22,0	2748	21,9
– Солидные раки**	2016	94,5	569	92,7	2585	94,1
Рак лёгкого***	719	35,7	85	14,9	804	31,1

Примечания: * в % от общей смертности; ** в % от всех ЗНО; * в % от солидных раков.**

обследование, в особенности рентгеноскопия органов грудной клетки, являлось самым информативным рентгенологическим методом диагностики опухолей данной локализации.

Анализ структуры рентгенологических процедур, проведённых в исследуемой когорте, показал, что частота выполнения различных типовых рентгеновских обследований не одинакова. Наряду с обязательным ежегодным прохождением профилактических осмотров, при которых чаще всего выполнялось однократное флюорографическое обследование, работники подвергались воздействию рентгеновского облучения по показаниям при обращении за медицинской помощью в результате различных заболеваний. Самыми распространёнными из них являются исследования грудной клетки, периферических суставов и желудка (рис. 1).

ных рентгенологических обследований различных локализаций в сумме пришлось менее 12% процедур, причём каждая по отдельности не превышала 3%, за исключением рентгенографии черепа (4,3%). Исходя из этого, для анализа риска медицинского облучения в исследуемой когорте было целесообразно рассматривать в качестве исследуемого эффекта ЗНО лёгкого, а референтной дозой для оценки риска считать поглощённую дозу на лёгкое. Распределение средней поглощённой дозы на лёгкое у персонала основных производств представлено в таблице №3.

Средняя накопленная доза от альфа-облучения на лёгкое составила порядка 0,2 Гр, а средняя величина поглощённой дозы внешнего гамма-облучения – около 0,5 Гр. При этом более 50% персонала основных производств имели



Рис. 1. Диаграмма.

Структура рентгенологических обследований в исследуемой когорте за период 1948 - 2000 гг. (за исключением флюорографии).

гораздо меньшую накопленную дозу от внешнего гамма облучения на лёгкое – до 0,3 Гр.

Значительно меньшей величиной характеризовалась накопленная в результате проведения рентгенодиагностических процедур доза медицинского облучения, среднее значение которой составило менее 5 сГр. Таким образом, накопленная доза медицинского облучения находится в диапазоне малых доз. Соотношение между средней дозой внешнего профессионального и медицинского облучения составило 11,6.

Полученные результаты оценки избыточного относительного риска для профессионального внешнего гамма-облучения и медицинского облучения в сравнении для всех солидных раков и рака лёгкого представлены в таблице №4.

В настоящем исследовании мы протестировали линейную, линейно-квадратичную и квадратичную зависимость в модели доза-эффект. Результаты сравнения параметров схо-

димости моделей показали, что наиболее хорошо данные в настоящем исследовании описываются линейной моделью. Избыточный относительный риск, оцененный по смертности от ЗНО лёгкого на единицу дозы производственного внешнего гамма-облучения, составил 0,26 (0,09–0,49). Используя данный коэффициент, мы можем рассчитать вред от воздействия внешнего ионизирующего облучения, выраженный в показателях общей и фоновой смертности в когорте (μ и μ_0) в зависимости от величины средней накопленной дозы производственного облучения:

Исходя из полученного значения коэффициента ИОР/Гр производственного гамма-облучения, при условии равенства коэффициентов качества этих видов облучения, получим:

Таким образом, воздействие средней дозы профессионального внешнего гамма-облучения, накопленной работником в течение периода наблюдения, повышает риск фоновой смертно-

Таблица №3. Распределение накопленной поглощённой дозы профессионального и медицинского облучения на лёгкое в исследуемой когорте по квантилям, мГр.

Источник	5%	10%	25%	Медиана(50%)	75%	90%	95%	Сред.знач.
Внешнее (γ)	9,5	23,4	83,0	271,7	762,7	1523,8	2033,0	552,7
Внутреннее (α)	4,2	6,2	12,3	28,1	83,3	242,5	530,2	168,3
Рентгеновское	3,4	3,4	10,2	29,0	80,0	119,2	135,8	47,5

Таблица №4. Сравнение оценок ИОР на единицу дозы внешнего профессионального и медицинского облучения (95% ДИ).

Локализация	ИОР/Гр _(γ)	ИОР/Гр _(flu)	ИОР/Гр _(med)
Лёгкое	0,26 (0,09–0,49)	5,4 (0,91–10,9)	5,2 (1,6–9,7)
Солидные раки	0,21 (0,12–0,31)	10,2(7,4–13,4)	9,4(6,9–12,1)

сти от рака лёгкого в когорте в 1,14 раза, а воздействие медицинского облучения – в 1,01 раза.

Обсуждение.

Рентгеновская аппаратура, использовавшаяся в период, к которому относится исследуемая когорта, предполагала значительно большую лучевую нагрузку на пациента (как, впрочем, и на врача-рентгенолога), чем в настоящее время. Это связано с устройством самих рентгеновских аппаратов того времени, а также тем, что наиболее информативные рентгеноскопические исследования, которыми зачастую заменялась рентгенография (главным образом это относится к исследованиям органов грудной клетки и органов желудочно-кишечного тракта с контрастированием), выполнялись в ранние годы на оборудовании без усилителя рентгеновского изображения (УРИ). Это обуславливало значительное облучение как пациента, так и врача-рентгенолога. Данная особенность исследуемой когорты даёт возможность сравнения оценок риска с другими исследованиями в частности [15].

В настоящее время с появлением УРИ и цифровой рентгенографии доза медицинского облучения пациентов значительно снизилась, однако серьёзные опасения вызывает дозовая нагрузка при компьютерной томографии (КТ), ставшей популярной в последнее время вследствие высокой информативности и возможности 3D-виртуальной интроскопии. В изучаемой когорте влияние дозы от КТ практически отсутствует, что связано с тем, что работники предприятия за исследуемый период наблюдались в поликлинике и стационаре ЦМСЧ – 71, где использование КТ началось после 2000 года. Мы располагаем данными о пациентах, проходивших КТ-исследование в ЦМСЧ – 71 с момента его появления по настоящее время. Первые исследования, касающиеся воздействия рентгеновского облучения в частности от КТ, опубликованы [16 - 17]. В настоящее время лабораторией радиационной эпидемиологии ЮУрИБФ совместно с ЦМСЧ – 71 продолжают научные исследования в области радиационной защиты при медицинском облучении.

В наших предыдущих исследованиях предпринимались попытки расчёта риска солидных ЗНО в зависимости от дозы медицинского облучения [8, 18]. Эти исследования показали, что коэффициент избыточного относительного риска медицинского облучения многократно превышает таковой для гамма-облучения на производстве. Это согласуется и с

результатами настоящего исследования – достоверный при 95% значении границ доверительного интервала ИОР/Гр смерти от рака лёгкого для медицинского облучения составил 5,2, а для флюорографического облучения – 5,4. Было предположено, что данное превышение является не следствием значительно более высокой биологической эффективности рентгеновских лучей по сравнению с гамма-излучением, а следствием неслучайного действия этого фактора в исследуемой когорте. Известно, что при рентгеновском диагностическом обследовании возрастает не столько накопленная доза, сколько вероятность обнаружения исследуемого эффекта, что является эффектом влияния обратной причинно-следственной связи. Это послужило основанием для поиска альтернативного подхода к оценке радиационного риска медицинского облучения. Как известно, по характеру рентгеновское и гамма-излучение сходны и отличаются лишь происхождением и длиной волны: рентгеновские лучи имеют большую длину волны и более низкие частоты, чем гамма-излучение. С точки зрения физики, кванты электромагнитного излучения с одинаковой энергией не отличаются по своей природе, поэтому такое разделение условно. Отдельные фотоны (энергетические кванты) этих видов излучения обладают достаточно высокой энергией для ионизации биомолекул и развития отдалённых стохастических эффектов [19]. Это позволяет предположить, что медицинское и внешнее производственное облучение, воздействуя на организм, с точки зрения физики оказывают одинаковое повреждающее воздействие, что является основанием для суммирования годовых доз медицинского и внешнего профессионального облучения.

В то же время известно, что медицинское облучение действует на организм больного, (зачастую, локально на исследуемый орган или анатомическую область). Данная особенность исследуемого фактора предполагает, что эффект от воздействия может быть более сильно выражен по сравнению с эффектом от воздействия производственного гамма-излучения, действующего, как правило, на организм здорового человека.

Так же особенностью исследования является различие в мощности дозы внешнего гамма- и рентгеновского облучения. Однако используемые данные дозиметрии, представленные в виде годовых накопленных поглощённых доз, не позволяют сделать выводы о том,

насколько равномерным было воздействие производственного облучения. Отсутствие данных по дозиметрии радона, как канцерогенного фактора для рака лёгкого, так же может внести ошибку в оценку риска.

Однако, основным фактором, влияющим на оценку риска медицинского облучения в данном исследовании, является полнота собранных данных. В настоящем исследовании имеются случаи, когда информации о пройденных в течение жизни рентгенологически процедурах в имеющихся первичных источниках не зафиксировано. Это может быть следствием того, что медицинское облучение либо отсутствовало, либо по каким-то причинам не было зафиксировано в первичном источнике (медицинской книжке) и не могло быть перенесено в электронную базу данных. Не исключается вероятность неполного сбора информации о рентгеновских обследованиях в тех случаях, когда пациент имел несколько медицинских книжек, и повторные запросы по их поиску не дали результатов. Таким образом, доза медицинского облучения для таких лиц могла быть занижена, вследствие чего получена завышенная оценка ИОР/Гр накопленной дозы медицинского облучения. Применение косвенного метода оценки вклада медицинского облучения на основании предположения о равных коэффициентах качества действия производственного внешнего и рентгеновского излучений позволяют избежать описанной ошибки.

Заключение.

Доза медицинского облучения работников предприятия за исследуемый период с 1948 по 2000 год формировалась в основном за счёт рентгенологических обследований органов

грудной клетки. Таким образом, органом, получившим наибольшую лучевую нагрузку при рентгенологических обследованиях работников исследуемой когорты, являлось преимущественно лёгкое.

Доза медицинского облучения на лёгкое у работников исследуемой когорты существенно ниже дозы профессионального гамма-облучения. Отношение средних величин накопленных доз внешнего профессионального и медицинского облучения на лёгкое для всех типов рентгеновских процедур в исследуемой когорте составляет 11,6.

Различие в оценках ИОР/Гр медицинского диагностического и внешнего производственного облучения в исследуемой когорте в большей степени обусловлены недооценкой доз медицинского облучения по причине не полностью собранных данных по медицинскому облучению в когорте, а не вследствие действия обратной причинно-следственной связи, хотя нельзя полностью отрицать её влияние.

При условии одинакового коэффициента качества внешнего производственного и медицинского диагностического излучения, воздействие рентгеновского облучения в средней дозе до 5 сГр, накопленной в течение жизни, повышает риск смерти от ЗНО лёгкого у работников исследуемой когорты на 1%.

Источник финансирования и конфликт интересов.

Авторы данной статьи подтвердили отсутствие финансовой поддержки исследования и конфликта интересов, о которых необходимо сообщить.

Список литературы:

1. Кошурникова Н.А., Шильникова Н.С., Окатенко П.В. Характеристика когорты работников атомного предприятия ПО «Маяк» (часть II). Вопросы радиационной безопасности. 1998; 3: 48–58.
2. Василенко Е.К. Дозиметрия внешнего облучения работников ПО «Маяк»: приборы, методы, результаты. Источники и эффекты облучения работников ПО «Маяк» и населения проживающего в зоне влияния предприятия. Под ред. М.Ф. Киселева и С.А. Романова. Челябинск, Челябинский дом печати. 2009; 1: 51–100.
3. Наркевич Б. Я., Долгушин Б. И. Обеспечение радиационной безопасности в компьютерной томографии и интервенционной радиологии. Российский электронный журнал радиологии. 2013; 2 (3): 7–19.
4. Иванов В.К., Цыб А.Ф., Метлер Ф.А. Радиационные риски медицинского облучения. Радиация и риск. 2011; 20 (2): 17–28.
5. Цыб А.Ф., Иванов В.К., Бирюков А.П. Возможности радиационной эпидемиологии при решении проблем радиационной безопасности медицинского облучения. Радиация и риск. 2008; 2: 50–62.
6. Вишнякова Н.М. Частота и уровни облучения пациентов и населения России за счёт лучевой диагностики с применением источников ионизирующего излучения. Радиационная гигиена. 2010; 3 (3): 17–22.
7. Hall E.J., Brenner D.J. Cancer risk from diagnostic radiology. The British Journal of Radiology. 2008; 81: 362 – 378.
8. Osipov M. V. An approach to assess the carcinogenic risk from medical exposure in “Mayak” worker cohort. Radioactive sources and radiation exposure effects on the Mayak PA workers and population living in the area of nuclear facility influence. Science ed. M.F. Kisselyov, S.A. Romanov. Chelyabinsk, Chelyabinsk Publishing House. 2014; VI: 110–120.
9. Осипов М.В. Поиск подходов к оценке канцерогенного риска медицинского облучения в когорте персонала ПО «МАЯК». Сборник трудов ЮУрИВФ. Под ред. М.Ф. Киселева, С.А. Романова. Челябинск, Челябинский дом печати, 2014. С. 123–136.
10. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. Ann. ICRP. 2007; 37 (6).
11. Василенко Е.К. Дозиметрия внешнего облучения работников ПО «Маяк»: приборы, методы, результаты. Источники

ки и эффекты облучения работников ПО «Маяк» и населения проживающего в зоне влияния предприятия. Под ред. М.Ф. Киселева и С.А. Романова. Челябинск, Челябинский дом печати. 2009; 1: 51–100.

12. Khokhryakov V.V., Khokhryakov V.F., Suslova K.G. Mayak Worker Dosimetry System 2008 (MWDS-2008): Assessment of internal dose from measurement results of plutonium activity in urine. *Health Physics*. 2013; 104 (4): 366 – 378.

13. Василенко Е.К., Жаров П.А., Сабаяев А.Н., Тепляков И.И. Реконструкция индивидуальных доз медицинского диагностического облучения работников ПО «Маяк». Сравнение медицинских и профессиональных доз. Семинар «Приборы и методы радиационного контроля»; ноябрь 11-13, 2008; Обнинск.

14. Preston D. L. *Epicure User's Guide*. USA. 330 p.

15. Ярмоненко С. П., Коноплинников А. Г., Вайнсон А. А. *Клиническая радиобиология*. М., Медицина, 1992. 320 с.

16. Geoffrey R. Howe. Lung Cancer Mortality between 1950 and 1987 after Exposure to Fractionated Moderate-Dose-Rate Ionizing Radiation in the Canadian Fluoroscopy Cohort Study and

References:

1. Koshurnikova N. I., Shilnikova N. S., Okatenko, P. V. Characteristics of the cohort of employees of the nuclear enterprise "Mayak" (part II). *Issues of radiation safety*. 1998; 3: 48-58 (in Russian).

2. Vasilenko E. K. Dosimetry of external exposure of Mayak workers: instruments, methods, results. Sources and effects of radiation exposure of Mayak workers and the population living in the zone of influence of the enterprise. Ed. by M. F. Kiselev and S. A. Romanov. Chelyabinsk, Chelyabinsk house of press. 2009; 1: 51-100 (in Russian).

3. Narkevich B. Ya., Dolgushin B. I. Radiation safety assurance in computed tomography and interventional radiology. *Russian electronic journal of radiology*. 2013; 2 (3): 7-19 (in Russian).

4. Ivanov V. K., Tsyb A. F., Metler F. A., etc. Radiation risks of medical radiation. *Radiation and risk*. 2011; 20 (2): 17-28 (in Russian).

5. Tsyb A. F., Ivanov V. K., Biryukov A. P., Radiation epidemiology at the decision of problems of radiation security of medical radiation. *Radiation and risk*. 2008; 2: 50-62 (in Russian).

6. Vishnyakova N. M. The frequency and levels of irradiation of patients and the population of Russia at the expense of radiology with use of ionizing radiation sources. *Radiation hygiene*. 2010; 3 (3): 17-22 (in Russian).

7. Hall E. J., Brenner D. J. Cancer risk from diagnostic radiology. *The British Journal of Radiology*. 2008; 81: 362 – 378.

8. Osipov M. V. An approach to assess the carcinogenic risk from medical exposure in "Mayak" worker cohort. Radioactive sources and radiation exposure effects on the Mayak PA workers and population living in the area of nuclear facility influence. Science ed. M. F. Kisselyov, S. A. Romanov. Chelyabinsk, Chelyabinsk Publishing House. 2014; VI: 110–120.

9. Osipov M. V. The search approaches to the evaluation of the carcinogenic risk of medical radiation exposure in a cohort of personnel of "MAYAK". Edited by M. F. Kiselyov, A. S. Romanov. Chelyabinsk, Chelyabinsk house of press, 2014. P. 123-136. (in Russian).

10. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. *Ann. ICRP*. 2007; 37 (6).

the Comparison with Lung Cancer Mortality in the Atomic Bomb Survivors Study. *Radiation Research*. 1995; 142: 295–304.

17. Osipov M.V., Lebedev N.I., Fomin E.P. Radiation Safety of Patients: Reducing the Radiation Dose in Abdominal Multislice Computed Tomography. *Russian Electronic Journal of Radiology*. 2015; 5 (2): 47 – 51.

18. Лебедев Н. И., Осипов М. В., Сinyaк Е.В., Фомин Е. П. Алгоритм контрольного МСКТ – исследования органов брюшной полости у пациентов, находящихся в процессе химиотерапии. *Медицинская радиология и радиационная безопасность*. 2015; 60 (4): 81 – 86.

19. Осипов М. В., Сокольников М.Э. Проблемы оценки канцерогенного риска медицинского облучения в когорте персонала предприятия ядерно-промышленного комплекса. *Медицинская радиология и радиационная безопасность*. 2015; 60 (6): 60 – 66.

20. Джойнер М.С., Когель О.Дж. ван дер. Основы клинической радиобиологии. М., БИНОМ, Лаборатория знаний, 2013. 600 с.

11. Vasilenko E. K. Dosimetry of external exposure of Mayak workers: instruments, methods, results. Sources and effects of radiation exposure of Mayak workers and the population living in the zone of influence of the enterprises. Edited by M. F. Kiselev and S. A. Romanov. Chelyabinsk, Chelyabinsk house of press. 2009; 1: 51-100 (in Russian).

12. Khokhryakov V. V., Khokhryakov V. F., Suslova K. G. Mayak Worker Dosimetry System 2008 (MWDS-2008): Assessment of internal dose from measurement results of plutonium activity in urine. *Health Physics*. 2013; 104 (4): 366 – 378 (in Russian).

13. Vasilenko E. K., Zharov, A. P., Sabayev A. N., Teplyakov A. I. Reconstruction of individual doses of diagnostic medical radiation workers AT the "Mayak". Comparison of medical and occupational doses. The seminar "Instruments and methods of radiation control"; November 11-13, 2008; Obninsk (in Russian).

14. Preston D. L. *Epicure User's Guide*. USA. 330 p.

15. Yarmonenko S. P., Konoplyannikov A. G., Vinson A. *Clinical radiobiology*. М., Medicine, 1992. 320 p. (in Russian).

16. Geoffrey R. Howe. Lung cancer mortality between 1950 and 1987 after exposure to sm depth moderate-dose-rate ionizing radiation in the canadian fluoroscopy cohort study and the comparison with lung cancer mortality in the atomic bomb survivors study. *Radiation Research*. 1995; 142: 295-304.

17. Osipov M. V., Lebedev N. I., Fomin E. P. Radiation Safety of Patients: Reducing the Radiation Dose in Abdominal Multislice Computed Tomography. *Russian Electronic Journal of Radiology*. 2015; 5 (2): 47 – 51.

18. Lebedev N. I., Osipov M. V., Sinyak V. E., Fomin E. P. The algorithm of the control MSCT – research of abdominal cavity organs of patients undergoing the chemotherapy. *Medical radiology and radiation safety*. 2015; 60 (4): 81 – 86 (in Russian).

19. V. Osipov, M., Sokolnikov, M. E. Problems of evaluation of the carcinogenic risk of medical radiation exposure in a cohort of personnel of enterprises of nuclear industrial complex. *Medical radiology and radiation safety*. 2015; 60 (6): 60 – 66 (in Russian).

20. Joyner M. S., Kogel O. Dzh. van der. The basics of clinical radiobiology. М., BINOM, Knowledge Laboratory, 2013. 600 p.