

УДК 539.12

*Г. Н. Тимошенко, Я. А. Горячева*

## Радиационные риски профессионального хронического облучения сотрудников Производственного объединения «Маяк»

*Сотрудники Производственного объединения «Маяк» работают в радиационно-вредных и особо вредных условиях труда и подвергаются хроническому внешнему и внутреннему облучению. В данной работе рассматриваются показатели заболеваемости и смертности работников ПО «Маяк», подвергшихся профессиональному пролонгированному облучению, в зависимости от радиационных и нерадиационных факторов.*

*Ключевые слова: радиационный риск, хроническое облучение, заболеваемость, персонал, ПО «Маяк».*

### Об авторах

**Тимошенко Геннадий Николаевич** – доктор физико-математических наук, профессор кафедры биофизики государственного университета «Дубна», старший научный сотрудник.

**Горячева Яна Алексеевна** – студент-магистр кафедры экологии и наук о Земле государственного университета «Дубна». *E-mail:* yana\_sprouse@mail.ru. Московская обл., г. Дубна, ул. Университетская, д. 19.

Производственное объединение «Маяк» является ведущим и старейшим (с 1948 г.) предприятием ядерного оружейного комплекса России. Неблагоприятная радиационная обстановка и сверхнормативное облучение части персонала в первые годы деятельности предприятия «Маяк» приводили к высокому уровню профессиональной заболеваемости. Уровни профессионального облучения работников предприятия в первые годы его деятельности нередко превышали предельно допустимые как при проведении рутинных работ, так и при ликвидации последствий нештатных ситуаций. В случаях нештатных ситуаций экспозиционная доза гамма-излучения составляла 30–100 Р<sup>1</sup>, а в некоторых случаях – 200 Р. [4]. Сотрудники, непосредственно подвергшиеся облучению в нештатной ситуации (главным образом, самоподдерживающейся цепной реакции деления) получали гораздо большие дозы гамма-

нейтронного излучения, зачастую приводящие к летальным исходам.

### Заболеваемость раком желудка у работников ПО «Маяк»

Рак желудка (РЖ) относится к наиболее распространенным злокачественным новообразованиям, занимает четвертое место в структуре онкологической заболеваемости и второе место в структуре онкологической смертности в мире.

Повышенный риск РЖ обнаружен у работников, подвергшихся воздействию шестивалентных соединений хрома, никеля, асбестосодержащей пыли, полихлорированных ароматических углеводородов в высоких концентрациях и некоторых других веществ.

В период ввода в эксплуатацию и совершенствования технологического процесса персонал ПО «Маяк», первого в России предприятия атомной промышленности, подвергался пролонгированному общему внешнему гамма-облучению, а также внутреннему альфа-облучению за счет ингаляционного поступления плутония в значительных количествах, которые в ряде случаев существенно превышали допустимые пределы, установленные нормативами, а также уровни облучения работников аналогичных предприятий за рубежом [3].

Спустя 10–15 лет после пуска ПО «Маяк» было отмечено увеличение частоты злокачественных новообразований, в том числе и РЖ, у работников, подвергшихся радиационному воздействию в высоких дозах, по сравнению с необлученными жителями города, расположен-

<sup>1</sup> Статистический материал статьи охватывает длительный период времени. Этим обусловлено употребление устаревших терминов и величин при цитировании литературных данных. Современные единицы дозы – грей для поглощенной дозы (1 Гр = 100 рад) и зиверт для эффективной эквивалентной дозы. Для гамма-излучения 1 Р ≈ 0,0098 Зв.

ного в непосредственной близости от этого предприятия, и статистикой бывшего Советского Союза [7].

У персонала ПО «Маяк» было также обнаружено повышение частоты РЖ от 0,24 до 0,5% с увеличением дозы облучения в диапазоне от 5 до 400–600 рад (при мощности дозы от 5 до 200 рад/год). РЖ является полиэтиологичным заболеванием, поэтому для более точной и объективной оценки его связи с воздействием ионизирующей радиации необходимо также учитывать влияние нерадиационных факторов.

Данные о суммарных дозах облучения, индексе курения и других его характеристиках, употреблении алкоголя, а также о заболеваемости работников, заболевших РЖ, и их напарников из группы контроля оценивались на момент диагностики опухоли после завершения формирования основной и контрольной группы и, следовательно, не могли повлиять на подбор контроля [3].

Среди исследуемого контингента персонал радиохимического производства составлял 55,7%; плутониевого – 23,6%; реакторного – 13,4%; прочих производств – 7,3%. Большая часть работников (67,6%) начала трудовую деятельность на предприятии в период с 1949 по 1957 гг., когда радиационное воздействие было наиболее высоким.

При статистической обработке результатов использовались методы однофакторного и многофакторного анализа. Сравнение средних значений в группах осуществлялось с помощью критерия Стьюдента ( $t$ ), а если распределение переменных отличалось от нормального, применялся непараметрический критерий  $U$  Манна–Уитни. Для оценки величины риска использовался показатель, называемый отношением шансов (ОШ). На основе многофакторной условной логистической регрессии получены аджустированные отношения шансов (ОШ<sub>ад</sub>), позволяющие учесть влияние каждого фактора при фиксированных уровнях других исследуемых факторов. Для ОШ и ОШ<sub>ад</sub> рассчитывался 95%-ный доверительный интервал. Был принят 5%-ный уровень значимости. Вычислялся также показатель, называемый популяционным атрибутивным риском (АР), свидетельствующий о количестве дополнительных случаев заболевания, обусловленных влиянием исследуемого фактора.

В основной группе средний возраст на момент диагностики РЖ составил  $53,1 \pm 0,8$  го-

да, а продолжительность периода от начала работы на ПО «Маяк» до установления диагноза –  $24,5 \pm 0,7$  года. У большинства работников (62,8%) опухоль желудка имела дистальную локализацию, в 14,8% случаев отмечалось новообразование кардиального отдела, у 14 человек (7,1%) на момент диагностики наблюдалось тотальное поражение органа, в 15,3% случаев в медицинской документации сохранились сведения только о морфологии опухоли, но не была указана ее локализация.

Известно, что при длительном персистировании *H. pylori* происходит подавление желудочной секреции, развивается атрофия и метаплазия желудочного эпителия, что способствует злокачественной трансформации. Согласно различным оценкам, в зависимости от штамма возбудителя и длительности инфицирования *H. pylori* риск РЖ увеличивается в 2,6 раз. Атрофия и кишечная метаплазия желудочного эпителия также повышают вероятность опухолевого процесса [3].

В исследованиях прошлых лет, выполненных среди персонала ПО «Маяк», было отмечено увеличение частоты гипосекреторных состояний, а также атрофических изменений слизистой оболочки желудка у работников, подвергшихся общему внешнему гамма-облучению в суммарной дозе более 200 Р.

Относительный риск возникновения РЖ составил 4,35; но его величина лишь приближалась к уровню статистической значимости ( $p=0,12$ ).

При многофакторном анализе влияние пролонгированного общего внешнего гамма-облучения на заболеваемость РЖ было обнаружено только при кумулятивной дозе в диапазоне от 3,0 до 8,5 Гр; средняя доза общего внешнего гамма-облучения в этом интервале составляла 4,78 Гр, а ОШ<sub>ад</sub> было равно 2,63 (ДИ 95%: 1,33–5,18).

Дозы общего внешнего гамма-облучения работников ПО «Маяк», начавших трудовую деятельность в первые годы работы предприятия, значительно превышали дозы облучения персонала аналогичных производств за рубежом [3].

При многофакторном анализе также не было обнаружено влияния на заболеваемость РЖ предшествующего контакта с химическими агентами, но и количество работников, подвергавшихся такому воздействию до начала трудо-

вой деятельности на ПО «Маяк», было невелико (8,8%).

Было установлено, что у работников ПО «Маяк», являющихся курильщиками, вероятность возникновения РЖ повышена в 2,10 раза (ДИ 95%: 1,42–3,12), АР курения составил 20%. Близкие оценки получены при исследовании в Норвегии, охватывавшем 18-летний период наблюдения: у выкуривающих ежедневно большое количество сигарет по сравнению с некурящими риск развития РЖ был увеличен в два раза, а популяционный АР составил приблизительно 18,4%. Также было обнаружено достоверное увеличение вероятности возникновения РЖ в 1,64 раза (ДИ 95%: 1,06–2,53), связанное со злоупотреблением алкоголем, а АР составил около 9%.

Величина АР свидетельствовала о том, что наибольший вклад в заболеваемость РЖ у персонала ПО «Маяк» вносили нерадиационные факторы: хронические гастриты с секреторной недостаточностью и язвенная болезнь желудка, на долю которых приходилось 24% случаев рака; курением могло быть обусловлено около 20% новообразований желудка; около 9% опухолей могло быть связано со злоупотреблением алкоголем. Приблизительно 5% случаев РЖ могло быть вызвано влиянием пролонгированного общего внешнего гамма-облучения в кумулятивной дозе более 3,0 Гр. [4].

### Выводы

1. В результате ретроспективного исследования, выполненного методом «случай–контроль», обнаружено достоверное увеличение риска РЖ в 2,6 раза при суммарной дозе пролонгированного общего внешнего гамма-облучения более 3,0 Гр; вклад этого фактора в заболеваемость РЖ работников ПО «Маяк» составил около 5%.

2. Не выявлено связи между ингаляционным поступлением  $^{239}\text{Pu}$  и заболеваемостью РЖ у персонала ПО «Маяк» при содержании радионуклида в организме от 0 до 39,60 кБк.

3. Преимущественное влияние на заболеваемость РЖ у работников ПО «Маяк» оказывали нерадиационные факторы:

– наиболее высокая вероятность возникновения новообразования обнаружена при хронических гастритах с секреторной недостаточностью ( $\text{ОШ}_{\text{ад}} = 4,9$ ) и язвенной болезни желудка ( $\text{ОШ}_{\text{ад}} = 3,2$ ), которыми в общей сложности

могло быть обусловлено около 24% случаев заболевания:

– текущее курение увеличивало риск РЖ в 2,1 раза и могло вызвать 20% злокачественных новообразований;

– злоупотребление алкоголем повышало вероятность заболевания РЖ в 1,6 раза и могло способствовать возникновению 9% опухолей [3].

### Заболеваемость раком печени у работников ПО «Маяк»

В экспериментальных работах, а также в исследованиях среди людей, подвергшихся внешнему и внутреннему облучению, установлено, что печень является относительно радиорезистентным органом. В это же время при больших дозах, особенно при внутреннем облучении от гепатотропных радионуклидов, отмечен ряд проявлений радиационного повреждения (радиационный гепатит, склеротические изменения и возникновения опухолей). Наиболее исчерпывающие сведения по радиационно-индуцированным опухолям печени накоплены в эпидемиологических исследованиях среди людей, которым с диагностической целью вводили торотрас, основанный на диоксиде тория (радиофармпрепарат, использовавшийся ранее для контрастного усиления).  $^{239}\text{Pu}$ , как и  $^{232}\text{Th}$ , является одним из гепатотропных альфа-излучающих радионуклидов. Впервые возникновение злокачественных опухолей печени у работников плутониевого производства описано в работах Мигунова Н.И., Мороз Г.С., Окладникова Н.Д. 70-х гг. XX в. [1].

Однако частота опухолей в этих исследованиях оценивалась на основе относительно малочисленных выборок персонала ПО «Маяк», и период наблюдения охватывал менее 30 лет. В тоже время, в исследованиях среди пациентов, которым вводился торотраст, установлено, что средний латентный период (время от введения торотраста до смерти) составляет для различных гистологических типов опухолей 30–37 лет.

В Южно-Уральском институте биофизики был создан и поддерживается Регистр работников ПО «Маяк», подвергавшихся внешнему и внутреннему радиационному воздействию в широком диапазоне доз. Регистр включает всех людей, приступивших к работе на ПО «Маяк» в период 1948–1972 гг. Для настоящего исследования выбраны лица, начавшие работать в 1948–1958 гг., т.к. эта группа является

критической по уровню облучения и наиболее подходящей по срокам наблюдения.

Была изучена смертность персонала, работавшего на трех типах производств: объект А – промышленные атомные реакторы; объект Б – заводы по радиохимическому выделению плутония из облученного урана; объект В – завод по получению стандартного плутония. Для работников атомных реакторов основным видом радиационного воздействия является внешнее гамма-облучение [8].

На объектах Б и В, кроме внешнего облучения, могло иметь место ингаляционное поступление плутония. Сведения о дозах внешнего гамма-облучения получены в отделе техники

безопасности по данным индивидуального фотопленочного контроля.

Количественная характеристика изучаемой когорты персонала и данные о дозах внешнего гамма-облучения представлены в табл. 1.

Дозы внутреннего альфа-облучения рассчитывались на основе данных об уровне экскреции плутония с мочой и результатов посмертной радиометрии органов. Имеются данные о дозах внутреннего альфа-облучения для 2412 человек из числа начавших работать до 1958 г. Количественная характеристика группы персонала, прошедшего биофизическое обследование, данные о дозах на печень и распределение персонала в зависимости от дозы представлены в табл. 2, 3.

Таблица 1. Количественная характеристика изучаемого персонала и средние значения доз внешнего гамма-облучения [8]

Характеристика персонала	Пол	Место работы (объект)			
		А	Б	В	А+Б+В
Всего людей	М	2344 (97,29±2,23)	3929 (168,51±2,23)	2126 (67,91±1,72)	8399 (128,33±0,99)
	Ж	829 (37,95±4,26)	1561 (156,63±3,26)	1058 (74,36±3,42)	3448 (111,12±2,03)
Из них с известным жизненным статусом	М	1978 (102,39±2,41)	3342 (172,59±2,48)	1853 (70,04±1,88)	7173 (131,56±1,23)
	Ж	705 (39,98±4,68)	1349 (165,41±3,66)	924 (77,06±3,73)	2978 (115,33±2,22)
Число человеко-лет наблюдателя	М	70440	114387	62363	247190
	Ж	26957	53061	35055	115073
Число умерших от всех опухолей	М	174 (119,04±9,92)	334 (249,79±9,97)	248 (118,75±6,30)	756 (182,69±6,04)
	Ж	48 (46,60±25,22)	78 (197,88±15,93)	99 (158,50±11,60)	225 (149,76±9,41)
Число умерших от злокачественных опухолей печени	М	10 (72,20±17,28)	13 (348,15±78,35)	9 (220,73±51,91)	32 (226,44±42,42)
	Ж	2 (11,32±9,44)	2 (212,97±102,85)	12 (197,59±19,87)	16 (176,23±22,62)

\*Примечание: в скобках даны средние значения доз ( $M \pm m$ ) внешнего гамма-облучения (сГр).

Таблица 2. Характеристика группы персонала, имеющего данные биофизического обследования, и средние значения накопленных доз альфа-гамма-облучения печени [7]

Показатель	Мужчины	Женщины
Люди с известным жизненным статусом	1662 (725,03±189,27)	750 (1100,45±344,91)
Число человеко-лет наблюдения	59465	29576
Число умерших от опухолей	244	70
Число умерших от злокачественных опухолей печени	8	10

\*Примечание: в скобках даны средние значения доз ( $M \pm m$ ) альфа-гамма-облучения печени (сЗв).

Таблица 3. Распределение персонала, имеющего данные биофизического обследования, в зависимости от дозы альфа-гамма-облучения печени [8]

Показатель	Доза (сЗв)			
	Менее 750		750 и более	
	М	Ж	М	Ж
Число людей	1309	579	353	171
Среднее значение дозы (M±m)	266,6±3,0	301,5±5,1	2439,6±522,3	3805,0±844,7
Удельный вклад альфа-составляющей (%)	50,8	54,8	77,8	81,7
Удельный вклад гамма-составляющей (%)	49,2	45,2	22,2	18,3

В качестве границы дозовых градаций (табл. 3) принята доза 7,5 Зв – значение накопленной дозы за пятьдесят лет работы при облучении на уровне предельно допустимой дозы (ПДД)<sup>2</sup>, действовавшей в период 1953–1960 гг. В нижнюю дозовую градацию вошли 78% лиц, имеющих данные биофизического обследования. В этой градации альфа- и гамма-составляющие вносят равный вклад в общую альфа-гамма-дозу облучения печени, тогда как в верхней дозовой градации, включающей 22% персонала, удельный вклад альфа-составляющей примерно в 4 раза выше, чем гамма-составляющей [8].

Более строгим является сравнение смертности среди изучаемого персонала с таковой в группе «внутреннего контроля». Такое сравнение было проведено по показателям стандартизованного относительного риска (табл. 4), которые показывают, какую долю от

ожидаемой составляет смертность, наблюдаемая в изучаемой группе персонала. Показатели СОР свидетельствуют о том, что смертность от рака печени среди работников всех и отдельных объектов выше, чем в контрольной группе, как у мужчин, так и у женщин, но превышение является достоверным только у женщин, и это обусловлено повышенной смертностью среди женщин-работниц завода. В табл. 4 уровень смертности от злокачественных опухолей печени у женщин-работниц завода В достоверно выше такового в контрольной группе и среди работниц других заводов. Более того, на объекте В смертность женщин превысила смертность мужчин, тогда как обычно опухоли этой локализации у мужчин встречаются чаще [1]. Объяснением этого факта служат данные о дозах облучения печени.

Таблица 4. Показатели смертности от злокачественных новообразований печени среди работников ПО «Маяк» (по состоянию на 01.01.93 г.) [8]

Показатель смертности	Пол	Место работы (объект)			
		А	Б	В	А+Б+В
Общий показатель, M±m	М	14,2±4,5	11,4±3,1	14,4±4,8	13,0±2,3
	Ж	7,4±5,2	3,8±2,7	34,2±9,9	13,9±3,5
Стандартизованный показатель, M±m	М	7,8±3,3	8,0±2,6	7,7±3,5	7,8±1,8
	Ж	7,6±5,3	4,0±2,7	32,6±9,6	14,1±3,5
Наблюдаемое число умерших	М	10	13	9	32
	Ж	2	2	12	16
Ожидаемое число умерших	М	6,90	8,73	6,29	21,92
	Ж	1,08	2,05	1,50	4,61
СОР (95% доверительный интервал)	М	1,45	1,49	1,43	1,46
		(0,55–3,81)	(0,63–3,51)	(0,52–3,96)	(0,85–2,51)
	Ж	1,86	0,98	8,01	3,47
		(0,18–19,31)	(0,14–6,86)	(1,47–43,69)	(1,23–9,76)

<sup>2</sup>Значения предельной дозы неоднократно пересматривались в сторону ее снижения. В настоящее время эффективная доза для персонала не должна превышать 1 Зв за период трудовой деятельности (50 лет).

Среднее значение дозы на печень для женщин, работавших на заводе В, составило 2048 сЗв, что в 2,3 раза выше соответствующего значения у мужчин, работавших на этом же

заводе (879 сЗв), и в 3–4 раза выше, чем у работников завода Б (651 сЗв у мужчин и 496 сЗв у женщин). Следует отметить, что здесь приведены дозовые характеристики только для лиц, прошедших биофизическое обследование. Такое обследование проводилось выборочно. Больше шансов войти в эту выборку, особенно в первые годы, имели лица, работавшие на участках, где поступление плутония в организм было наибольшим. Следовательно, в случае сплошного биофизического обследования, если бы такое было проведено, средние значения дозы на печень, по-видимому, изменились бы в сторону некоторого уменьшения, но соотношение доз, вероятнее всего, осталось бы прежним. Наименьшие дозы на печень получили работники реакторов, для которых доза внешнего гамма-облучения всего тела может характеризовать дозу на печень. Среднее значение дозы у мужчин составило 103 сЗв, у женщин – 40 сЗв [8].

Наибольший интерес представляет сравнение данных с результатами эпидемиологических исследований среди людей, которым с диагностической целью вводился торотраст, поскольку в обоих случаях имела место инкорпорация альфа-излучающего радионуклида [10].

Распределение опухолей печени по гистологическому типу у изучаемого персонала отличалось от такового у больных, которым вводился торотраст. Имеются данные гистологического исследования для 30 случаев из 48 умерших от злокачественных опухолей печени. Гепатоцеллюлярный рак обнаружен в 53% случаев. В торотрастовой группе этот тип рака встречался реже других типов и составлял 16–22%, в то время как холангиоцеллюлярный рак был диагностирован у 36–71% умерших. Холангиоцеллюлярный рак выявлен всего в 16,7% случаев и только у мужчин. Очень близкой оказалась частота гемангиоэндотелиом в сравниваемых группах: 26,7% в группе изучаемого персонала и 17–29% в «торотрастовой» группе [5].

Таким образом, исследование подтвердило полученные ранее данные об увеличении смертности от злокачественных опухолей печени среди персонала плутониевого производства, которое обусловлено, главным образом, высокой частотой гемангиоэндотелиом в основном при дозах, в десятки раз превышающих ПДД.

### **Выводы**

Смертность от злокачественных опухолей печени среди персонала ПО «Маяк», рабо-

тавшего в период освоения производства и подвергавшегося внешнему и внутреннему облучению в дозах, превышающих допустимые. Смертность среди этого персонала за 35–45 лет наблюдения составляет 13–14 на  $10^5$  чел./год для мужчин и женщин соответственно и достигает максимальных значений для опухолей этой локализации по литературным данным. Превышение наблюдаемой смертности над ожидаемой имело место на всех объектах, но достоверным это превышение является только для женщин-работниц плутониевого производства. Увеличение смертности среди работниц плутониевого производства обусловлено, главным образом, гемангиоэндотелиомами, возникшими при дозах в среднем 150 Зв. Избыточный относительный риск первичных злокачественных новообразований печени для лиц обоего пола составил 0,23 на 1 Зв сочетанного альфа-гамма-облучения печени.

### **Показатели заболеваемости и смертности от острого инфаркта миокарда в когорте рабочих ПО «Маяк»**

Острый инфаркт миокарда (ОИМ) – одна из наиболее тяжелых острых форм ишемической болезни сердца, имеет высокую летальность (35%) и высокий процент осложнений с длительной нетрудоспособностью.

Результаты анализа заболеваемости и смертности от ОИМ в когорте работников ПО «Маяк» в зависимости от суммарной дозы внешнего гамма-облучения и содержания в организме Pu-239 представлены в табл. 5 и 6. Установлено, что заболеваемость и смертность от ОИМ были выше ( $p < 0,05$ ) у мужчин изучаемой когорты, подвергшихся пролонгированному внешнему гамма-облучению в суммарной дозе более 1,0 Гр; причем, наиболее значимо у мужчин радиохимического (РХ) завода (табл. 5) [2].

У женщин, работавших на радиохимическом (РХ) и плутониевом заводах и подвергшихся пролонгированному внешнему гамма-облучению в суммарной дозе  $> 1,0$  Гр, только заболеваемость, но не смертность от ОИМ была выше ( $p < 0,05$ ) по сравнению с теми, кто подвергся облучению в более низких дозах. Ранее было показано, что у работников РХ завода заболеваемость ОИМ была выше, чем у жителей г. Озерска, расположенного вблизи ПО «Маяк» [4]. Был отмечен рост числа случаев внезапной коронарной смерти у работников ПО «Маяк» [5].

В другом исследовании было выявлено увеличение показателя смертности от ИБС у работников, подвергшихся внешнему гамма-облучению в суммарной дозе более 1,0 Гр [17]. В результате проведенного анализа было выявлено, что заболеваемость и смертность от ОИМ были выше у мужчин всей когорты с содержанием  $^{239}\text{Pu}$  в организме более 1,48 кБк и, в большей степени, у мужчин РХ завода (табл. 6). У женщин не было установлено влияния внутреннего облучения от инкорпорированного

плутония на смертность от ОИМ, что можно объяснить малым числом случаев смерти в группах с измеренным содержанием плутония в организме и, как следствие, недостаточной статистической мощностью исследования. Обнаруженные более высокие показатели заболеваемости и смертности от ОИМ у работников РХ завода, возможно, были обусловлены другими неучтенными производственными факторами, и в первую очередь, химическим.

Таблица 5. Стандартизованные показатели заболеваемости и смертности от ОИМ в зависимости от суммарной дозы внешнего гамма-облучения с учетом пола работников и типа производства (на 10 000 работающих) [2]

Тип производства		Мужчины			Женщины		
		< 0,5 Гр	0,5–1,0 Гр	> 1,0 Гр	< 0,5 Гр	0,5–1,0 Гр	> 1,0 Гр
Показатели смертности	реакторный завод	9,39±0,97	5,24±0,95	9,02±1,26	2,47±0,64	0,00±0,00	8,93±4,69
	плутоневый завод	10,74±0,77	6,79±1,61	13,11±2,46	3,34±0,63	6,1±2,15	2,16±1,84
	радиохимический завод	3,49±0,96	8,1±1,08	12,5±0,77*	2,66±0,79	2,3±0,85	4,01±0,81
	вся когорта	8,38±0,79	6,77±1,10	11,43±0,31*	2,91±0,61	3,29±1,11	4,12±1,06
Показатели заболеваемости	реакторный завод	34,77±1,94	27,83±2,38	37,84±2,41	9,79±1,26	16,43±4,0	0 ± 0
	плутоневый завод	28,54±1,4	28,03±3,36	33,2±4,2	11,65±1,24	2,97±1,39	19,1±1,53*
	радиохимический завод	15,4±3,16	27,25±3,41	32,75±2,61*	8,97±1,53	4,69±1,2	13,38±1,45*
	вся когорта	26,14±2,11	27,25±3,41	32,75±2,61*	10,53±1,3	6,26±1,91	13,95±1,4

\*отмечены достоверные различия

Таблица 6. Стандартизованные показатели заболеваемости и смертности от ОИМ в зависимости от уровня содержания  $\text{Pu-239}$  в организме с учетом пола работников и типа производства (на 10 000 работающих) [2]

Тип производства		Мужчины, кБк			Женщины, кБк		
		< 0,74	0,74–1,48	> 1,48	< 0,74	0,74–1,48	> 1,48
Показатели смертности	реакторный завод	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00
	плутониевый завод	8,22±2,14	14,11±3,6	14,38±3,80	1,75±1,25	3,58±2,57	4,33±2,59
	радиохимический завод	6,25±1,31	6,83±2,78	20,6±4,10*	2,59±1,0	6,64±3,82	12,32±4,90
	вся когорта	8,17±1,15	9,21±2,63	17,90±2,80*	2,33±0,78	5,51±2,75	6,44±2,71
Показатели заболеваемости	реакторный завод	49,53± 8,23	51,49±33,15	95,69±49,75	14,53±6,7	0±0	0±0
	плутониевый завод	29,99±4,26	30,03±5,43	45,53±4,11*	9,06±2,97	5,93±4,0	12,11±3,42
	радиохимический завод	30,99±2,99	31,98±4,14	45,35±3,86*	11,85±2,20	21,28±4,66	3,28±2,92
	вся когорта	33,02±2,38	31,65±4,95	45,67±4,66*	11,16±1,76	15,93±4,28	9,83±3,14

\*отмечены достоверные различия

### Выводы

Результаты проведенного исследования свидетельствуют о статистически значимом влиянии как нерадиационных, так и радиационных факторов на заболеваемость и смертность от ОИМ в когорте работников ПО «Маяк», впервые нанятых на предприятие в период 1948–1958 гг. и подвергшихся профессиональному пролонгированному внешнему и/или внутреннему облучению от инкорпорированного плутония. Показатели заболеваемости и смертности от ОИМ статистически значимо зависели от пола, возраста, курения, артериальной гипертонии и повышенной массы тела работников. Показатели заболеваемости и смертности от ОИМ были выше у работников, подвергшихся пролонгированному внешнему гамма-облучению в суммарной дозе более 1,0 Гр, и у мужчин с измеренным содержанием  $^{239}\text{Pu}$  в организме более 1,48 кБк по сравнению с теми, кто подвергался облучению в более низких дозах.

### Заключение

По результатам исследований было выяснено, что для 671 из 810 (83%) проанализированных случаев злокачественных опухолей у работников ПО «Маяк», большинство из которых начали работу в период пуска и освоения производства, была выявлена связь заболевания с одним или несколькими (от одного до четырех) факторами риска. В 139 случаях влияния исследуемых факторов выявлено не было [4].

Частота выявления экспозиционных факторов, т.е. факторов риска опухолей, была весьма различной для отдельных факторов и для различной локализации опухолей: наибольшая для курения – 53 (91%), затем для алкоголя – 14 (41%) и хронических болезней – 2 (57%) и наименьшая – для инкорпорации  $^{239}\text{Pu}$  – 9 (37%) и внешнего гамма-облучения – 6 (37%).

Наибольшая канцерогенность, представленная в виде относительного риска (ОР), была выявлена для инкорпорации  $^{239}\text{Pu}$  (ОР = 8,0), затем для курения (2,9) и хронических болезней (2,8) и близкая – для внешнего гамма-облучения (2,5) и злоупотребления алкоголем (2,2).

Популяционный атрибутивный риск, характеризующий дополнительную заболеваемость в популяции, связанную с исследуемым фактором риска, был наибольшим для курения – 25–73%, одинаковым – 0–29% для инкорпорации  $^{239}\text{Pu}$ , злоупотребления алкоголем и хронических болезней и наименьшим для

внешнего гамма-облучения – AP 3–18%. Количественное распределение опухолей, рассчитанное на основе оценки атрибутивного риска, свидетельствовало, что из 671 опухоли, обнаруживших связь с факторами риска, только 21% (140) могли быть обусловлены радиационным воздействием: 12% (79) – инкорпорацией  $^{239}\text{Pu}$  и 9% (61) внешним гамма-облучением: 25% (168) – хроническими заболеваниями, преимущественно гастритами со сниженной секреторной функцией и язвами желудка — 14% (94) и хроническими обструктивными заболеваниями легких — 11% (74). Наибольшее же количество опухолей 54% (363) было обусловлено вредными привычками, главным образом, курением – 41% (273), алкоголем – 13% (90) [6].

Мероприятия по снижению онкологической заболеваемости у работников атомной промышленности должны быть направлены [5]:

1) на строгое исполнение норм радиационной безопасности, а также регулирование численности персонала, относящегося к группе потенциального риска, т.е. на предупреждение случаев переоблучения;

2) улучшение диагностики и лечения хронических заболеваний желудка (гастритов с секреторной недостаточностью и язв) и хронических обструктивных заболеваний легких;

3) особенно важным является уменьшение числа курильщиков и злоупотребляющих алкоголем среди молодых работников, т.к. именно эти категории могут обусловить в ближайшее время основное количество злокачественных опухолей.

Перспективным в этом отношении может стать проведение генотипирования (для выявления лиц с неблагоприятным полиморфизмом и мутациями), а также лечение лиц с никотиновой (наркотической) зависимостью в соответствующих врачебных кабинетах.

### Библиографический список

1. Гранов А.М., Петровичев Н.Н. Первичный рак печени. Л.: Медицина, 1977. 244 с.
2. Власенко Е.В., Азизова Т.В., Мосеева М.Б., Григорьева Е.С., Осовец С.В., Гергенрейдер С.Н. Показатели заболеваемости и смертности от острого инфаркта миокарда в когорте рабочих ПО «Маяк»// Медицина труда и промышленная экология. 2012. № 8. С. 28–33.
3. Жунтова Г.В. Вклад профессионального облучения в заболеваемость раком желудка у работ-

ников ПО «Маяк»// Медицина труда и промышленная экология. 2009. № 8. С. 20–25.

4. Иванов В.К., Кайдалов О.В., Кашеева П.В., Корело А.М., Панфилов А.П., Василенко Е.К. Оценка индивидуальных радиационных рисков при различных сценариях профессионального хронического облучения// Радиация и риск. 2008. Т.17. № 2. С. 9–29.

5. Осипов М.В., Сокольников М.Э. Оценка вклада медицинского облучения в канцерогенный риск у работников ПО «Маяк»// REJR. 2016. 6 (2). С. 72–79.

6. Осовец С.В., Азизова Т.В., Дружинина М.Б., Недро В.С. Статический анализ распределения по дозам работников ПО «МАЯК» с хронической лучевой болезнью// Вопросы радиационной безопасности. 2006. № 2. С. 38–46.

7. Токарская З.Б., Окладникова Н.Д., Беляева З.Д. Оценка вклада радиационных и нерадиацион-

ных факторов в развитие рака легкого у работников радиохимического предприятия// Вопросы онкологии. 1994. № 4–5–6. С. 165–170.

8. Шильникова Н.С., Кошурникова Н.А., Болотникова М.Г., Нифатов А.П., Окатенко П.В., Хохряков В.Ф., Романов С.А. Смертность от злокачественных новообразований печени среди персонала ПО «Маяк»// Радиация и риск. 1995. № 5. С. 151–155.

9. Катастрофа на комбинате «МАЯК» 29 сентября 1957 г. – URL: <http://nuclear.tatar.mtss.ru/fa230907.htm> (режим доступа: свободный. Дата обращения: 07.09.17).

10. Рак печени – факторы риска рака печени. – URL: <http://www.xda.su/SIRTTherapy/LiverCancerLiverCancerRiskFactors/> (режим доступа: свободный. Дата обращения: 07.09.17).

---

*Поступила в редакцию  
26.05.2018*