

Производственное облучение родителей: анализ общей смертности потомков

С.Ф. Соснина, П.В. Окатенко, М.Э. Сокольников

Южно-Уральский институт биофизики ФМБА России

456783, г. Озёрск, Озёрское шоссе, 19

Резюме

Эпидемиологические работы, описывающие эффекты радиационного воздействия на родителей в отношении здоровья детей, весьма противоречивы. Цель исследования – анализ общей смертности потомков, чьи родители подверглись профессиональному облучению на ПО «Маяк», первом в России предприятии ядерной энергетики. **Материал и методы.** Ретроспективный анализ проведен в когорте из 19 999 потомков 1949–1973 г.р., из которых 12 836 родились в семьях работников ПО «Маяк», 7163 – от необлученных родителей. Общая смертность проанализирована с учетом пола, календарного периода, нозологий, доз внешнего гамма-облучения гонад до зачатия. Проведен расчет стандартизованного отношения смертности (SMR) в сравнении с национальным стандартом, оценен относительный риск (ОРиск) с учетом классов болезней и избыточный относительный риск (ИОРиск) с 95%-м доверительным интервалом с учетом доз внешнего гамма-облучения гонад. **Результаты и их обсуждение.** В основной группе за период с 1949 по 2020 г. зарегистрировано 2758 случаев смерти ($214,9$ на 10^3), что значительно меньше, чем в группе сравнения (1689 случаев, $235,8$ на 10^3) ($p = 0,0006$). Наиболее часто наблюдались «Травмы и отравления», «Болезни системы кровообращения» и «Злокачественные новообразования» без значимых различий между группами. Риск инфекционной патологии, «Отдельных состояний перинатального периода» и «Болезней органов дыхания» в группе сравнения был существенно выше, чем в основной. В целом ОРиск смерти был выше в группе сравнения для потомков женского пола – $0,78$ ($0,69–0,88$) и для обоих полов – $0,89$ ($0,83–0,95$). Во многих категориях возраста родителей наблюдалось явное преобладание смертности в группе сравнения. Анализ SMR показал, что общая смертность от всех причин среди потомков женского пола в основной группе и среди потомков мужского пола в обеих группах была статистически значительно ниже, чем в Российской Федерации. Расчет ИОРиска не выявил превышения коэффициентов риска ни в целом, ни в различных дозовых категориях. **Заключение.** Результаты исследования не указали на повышенный риск смерти среди потомков лиц, подвергшихся производственному облучению. Учитывая сравнительно молодой возраст наблюдаемой когорты, требуется дальнейший эпидемиологический мониторинг.

Ключевые слова: радиация, внешнее гамма-облучение, ПО «Маяк», потомки облученных, общая смертность.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Работа проводилась согласно Государственному контракту № 11.314.22.2 от 15.07.2022 в соответствии с Федеральной программой «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2016–2020 гг. и на период до 2035 г».

Автор для переписки: Соснина С.Ф., e-mail: sosnina@subi.su

Для цитирования: Соснина С.Ф., Окатенко П.В., Сокольников М.Э. Производственное облучение родителей: анализ общей смертности потомков. *Сибирский научный медицинский журнал*. 2024;44(6):249–257. doi: 10.18699/SSMJ20240627

Occupational exposure of the parents: general mortality among the offspring

S.F. Sosnina, P.V. Okatenko, M.E. Sokolnikov

Southern Urals Biophysics Institute of the FMBA of Russia

456783, Ozyorsk, Ozyorskoe shosse, 19

Abstract

Epidemiological studies describing the effects of parental radiation exposure on the health of children are highly contradictory. Aim of the study was to analyze the general mortality of offspring whose parents were exposed to occupational radiation at Mayak, the first nuclear power plant in Russia. **Material and methods.** A retrospective analysis was conducted in a cohort of 19 999 offspring born in 1949–1973, of which 12 836 were born in families of Mayak workers and 7163 were born from non-irradiated parents. General mortality was analyzed taking into account sex, calendar period, nosologies, and doses of external gamma irradiation of the gonads before conception. The standardized mortality ratio (SMR) was calculated in comparison with the national standard, the relative risk (RRisk) was estimated taking into account disease classes and the excess relative risk (ERRisk) with a 95 % confidence interval taking into account the doses of external gamma irradiation of the gonads. **Results and discussion.** In the main group, 2758 deaths have been registered for the period 1949–2020 (214.9 per 10³), which is significantly less than in the comparison group (1689 cases, 235.8 per 10³) ($p = 0.0006$). The most frequently observed diseases were “Injuries and poisoning”, “Diseases of the circulatory system” and “Malignant neoplasms” without significant differences between the groups. The risk of infectious pathology, “Certain conditions of the perinatal period” and “Respiratory diseases” in the comparison group was significantly higher than in the main group. Overall, the RRisk of death was higher in the comparison group for female offspring – 0.78 (0.69–0.88) and for both sexes – 0.89 (0.83–0.95). In many categories of parental age, there was a clear predominance of mortality in the comparison group. The SMR analysis showed that the general mortality from all causes among female offspring in the main group and among male offspring in both groups was statistically significantly lower than in the Russian Federation. The calculation of the ERRisk did not reveal an excess of risk coefficients either overall or in different dose categories. **Conclusion.** The study results did not indicate an increased risk of death among the offspring of individuals exposed to occupational radiation. Taking into consideration the relatively young age of the observed cohort, further epidemiological monitoring is required.

Key words: radiation, external gamma irradiation, Mayak, descendants of irradiated persons, general mortality.

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

Financing. The work was carried out under State Contract No. 11.314.22.2 dated 15.07.2022 in accordance with the Federal Program “Ensuring Nuclear and Radiation Safety for 2016-2020 and for the period up to 2035”.

Correspondence author: Sosnina S.F., e-mail: sosnina@subi.su

Citation: Sosnina S.F., Okatenko P.V., Sokolnikov M.E. Occupational exposure of the parents: general mortality among the offspring. *Sibirskij nauchnyj medicinskij zhurnal = Siberian Scientific Medical Journal*. 2024;44(6):249–257. [In Russian]. doi: 10.18699/SSMJ20240627

Введение

Изучение последствий радиационного воздействия на родителей в отношении здоровья потомков является одним из актуальных направлений радиационной эпидемиологии. Многочисленные исследования эффектов прекоцептивно-го (до зачатия) облучения в различных когортах не привели к единому пониманию исходов у последующих поколений. Так, анализ репродуктивных исходов среди пациентов, подвергшихся лучевой терапии рака, показал высокий риск недоношенности, нарушений внутриутробного развития и смертности потомков в перинатальный период [1]. Вместе с тем среди потомков жертв атомной бомбардировки в Хиросиме и Нагасаки спустя десятилетия многопланового наблюдения не обнаружено никаких признаков вредного воздействия на здоровье [2, 3]. В. Jordan [4] отмечает, что данные по японским когортам фактически являются основой для определения текущего уровня радиационной безопасности, но они неприменимы к сложным ситуациям, таким как аварии на атомных электростанциях, которые

связаны с различными типами радиации, а также загрязнением радиоактивными материалами. В частности, оценка показателей смертности в районах, расположенных рядом с Семипалатинским ядерным полигоном, указала на их превышение по некоторым классам болезней среди населения, подвергшегося воздействию радиации, и их потомков [5]. Оценка радиационных рисков в настоящее время проводится в когортах потомков пострадавших при аварии на Чернобыльской АЭС [6] и населения районов вдоль р. Теча на Южном Урале, загрязненных сбросами радиоактивных отходов ПО «Маяк» [7].

ПО «Маяк» – первый в России промышленный объект ядерной энергетики, функционирующий с 1948 г. Характерными особенностями когорты его персонала по сравнению с другими когортами работников ядерных комплексов в мире являются продолжительное наблюдение, соизмеримое с мониторингом здоровья людей, пострадавших от атомных бомбардировок, и их потомков; пролонгированное производственное облучение; измеренные дозовые нагрузки у каж-

дого индивидуума; весомый удельный вес (25 %) женского персонала репродуктивного возраста [8]. Соответственно, когорту потомков, чьи родители были работниками ПО «Маяк», можно рассценивать как одну из наиболее наглядных в мире для анализа эффектов производственного облучения родителей.

Цель исследования – оценка общей смертности потомков, родители которых подверглись профессиональному облучению на ПО «Маяк». Рабочая гипотеза включала предположение о значимом вкладе производственного облучения родителей в общую смертность потомков.

Материал и методы

Информационными ресурсами для ретроспективного исследования служили архивные документы Южно-Уральского института биофизики, содержащие сведения о штатном персонале ПО «Маяк» [9], населении закрытого административно-территориального образования (ЗАТО) г. Озёрска, расположенного рядом с предприятием [10], данные об онкопатологии [11], сведения о случаях смерти [12].

Критерии формирования исследуемой группы потомков (основная группа): ребенок рожден в ЗАТО г. Озёрска в 1949–1973 гг.; родители являлись персоналом основных производств ПО «Маяк». Критерии формирования группы сравнения: ребенок рожден в ЗАТО г. Озёрск в 1949–1973 гг.; родители не были переселены с радиоактивно загрязненных областей, не подвергались производственному облучению до зачатия ребенка (не входили в штат персонала ПО «Маяк», не были военными, строителями, привлекавшимися для работы на ядерном объекте, не были ликвидаторами последствий радиационных аварий). В результате основная группа включала 12 836 человек: 6551 мужчина (51 %), 6285 женщин (49 %). Группа сравнения состояла из 7163 человек: 3650 мужчин (51 %), 3513 женщин (49 %). Сопоставимость групп достигнута фактом рождения в ЗАТО г. Озёрска, соразмерным соотношением полов, общим периодом рождения, что предполага-

ет одинаковый уровень и качество медицинского обслуживания, а также единые климатогеографические условия проживания потомков.

Оценены показатели общей смертности потомков за период с 1949 по 2020 г. Общее число человеко-лет наблюдения составило 1 228 741 (в основной группе – 768 654, в группе сравнения – 460 087). Основные причины смерти проанализированы в соответствии с МКБ-10. «Дозиметрическая Система Работников Маяка – 2013» была основным источником данных об индивидуальных дозах профессионального облучения персонала ПО «Маяк» [13]. Оценены накопленные поглощенные дозы внешнего гамма-облучения гонад.

Для статистической обработки данных использованы пакеты программ STATISTICA V. 10 (StatSoft, США) и EPICURE (США) [14]. При сравнении показателей по частоте применены непараметрические методы статистики (точный критерий Фишера и критерий χ^2 Пирсона), различия в группах считались статистически значимыми при $p < 0,05$. Анализ стандартизованного отношения смертности (SMR) проводился методом косвенной стандартизации с использованием национального стандарта по данным ВОЗ [15]. Коэффициенты относительного риска (ОРиск) и избыточного относительного риска (ИОРиск) в зависимости от доз внешнего гамма-облучения гонад рассчитаны с 95%-м доверительным интервалом (95 % ДИ).

Результаты и их обсуждение

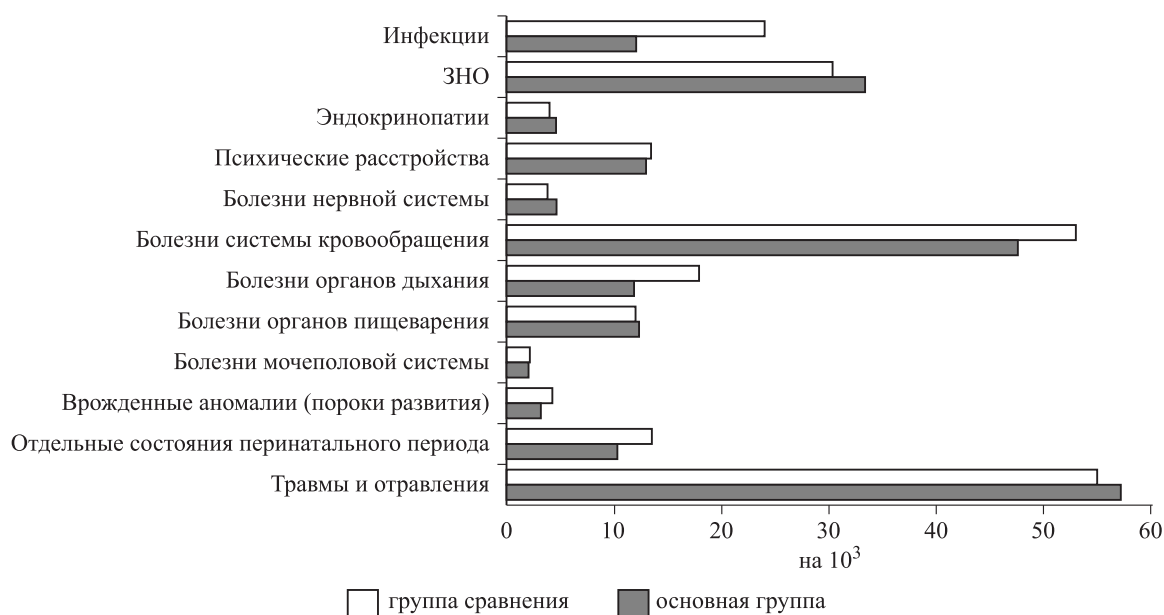
В основной группе и в группе сравнения за период с 1949 по 2020 г. существенный вклад в количество случаев смерти вносили потомки мужского пола (73,1 и 69,4 % соответственно) (табл. 1). Обнаружена более высокая смертность в группе сравнения среди потомков женского пола и среди обоих полов.

В структуре причин смерти (рисунок) в обеих группах наиболее часто встречались «Травмы и отравления». «Болезни системы кровообращения» были представлены главным образом «Ише-

Таблица 1. Показатели общей смертности

Table 1. General mortality rates

Пол потомков	Основная группа, <i>n</i> = 12836		Группа сравнения, <i>n</i> = 7163		<i>p</i>
	<i>n</i>	на 1000	<i>n</i>	на 1000	
Мужчины	2016/6551	307,7	1173/3650	321,4	0,15
Женщины	742/6285	118,1	516/3513	146,9	0,00004
Оба пола	2758/12836	214,9	1689/7163	235,8	0,0006



Основные причины смерти в группах

Main causes of death in the groups

мической болезнью сердца» (в основной группе 352 случая смерти (27,4 на 10³), в группе сравнения – 212 (29,6 на 10³), чаще всего регистрировался острый инфаркт миокарда (соответственно 79 (6,2 на 10³) и 45 случаев смерти (6,3 на 10³)). Средний возраст смерти от острых инфарктов миокарда составлял 52 года в основной группе и 50 лет – среди потомков необлученных родителей. Злокачественные новообразования (ЗНО) занимали третье по частоте место в обеих группах. Ранее проведенный анализ гемобластозов в исследуемой когорте потомков не показал значимых оценок риска [16]. По всем перечисленным нозологиям статистически значимых различий между группами не наблюдалось. Инфекционная патология как основная причина смерти наблюдалась в группе сравнения существенно чаще, чем в основной группе (см. рисунок, $p < 0,00001$). В структуре данного класса отмечен существенный вклад кишечных инфекций в детском возрасте, особенно шигеллез, характерных для первых лет наблюдаемого периода. Кроме того, отмечен значительный удельный вес так называемых «управляемых инфекций», в том числе туберкулеза, дифтерии, вирусных гепатитов, менингококковой инфекции, отнесенных в настоящее время к «вакциноуправляемым» инфекционным болезням. Коронавирусная инфекция как основная причина смерти зарегистрирована в 2020 г. в единичных случаях (9 случаев в основной группе и 3 случая в группе сравнения) и чаще отмечалась как сопутствующая патология; средний возраст смерти от COVID-19 составлял 63 года.

«Болезни нервной системы» в качестве основных причин смерти регистрировались в группах с одинаковой частотой (см. рисунок), они были представлены как воспалительными заболеваниями, так и дегенеративной патологией ЦНС, среди которой существенный вклад в смертность в обеих группах вносила церебральная дегенерация. Случаи эпилепсии несколько чаще приводили к смертельному исходу в основной группе, чем в группе сравнения (соответственно 1,3 и 0,42 на 10³, $p = 0,06$). Класс «Болезни органов дыхания» весомо чаще наблюдался в группе сравнения ($p = 0,0004$) со средним возрастом смерти при данной патологии 18 лет и 23 года соответственно. Врожденные аномалии развития как основные причины смерти регистрировались в группах без статистических различий и, как правило, были представлены пороками развития сердечных камер и соединений. Средний возраст смерти от декомпенсации пороков составил 8 лет в основной группе и 7 лет в группе сравнения. Статистические значимые различия в группах отмечены для состояний, характерных для перинатального периода, чаще ставших причинами смерти в группе сравнения ($p = 0,04$) (см. рисунок). В спектре данных состояний наиболее часто встречались укорочение срока гестации и респираторные расстройства новорожденных. Сравнительный анализ остальных классов МКБ в группах не обозначил значимых различий.

Анализ динамики общей смертности по годам смерти подтвердил прогнозируемое увеличение показателей смертности к концу наблюдаемого

периода вследствие естественного старения когорты. Так, среди мужчин основной группы показатель общей смертности вырос с 8,9 на 10^3 в 1949–1953 гг. до 104,1 на 10^3 в 2010–2020 гг. (с 17,7 до 82,9 на 10^3 в группе сравнения); среди женщин – с 8,7 до 43,9 на 10^3 (с 13,0 до 34,4 на 10^3 в группе сравнения).

Сравнительный анализ смертности с учетом распределения по возрасту показал значимые статистические различия в группах в некоторых возрастных категориях. Так, для потомков мужского пола смертность в возрасте 0–4 года была статистически значимо выше в группе сравнения, чем в основной (соответственно 60,5 и 38,5 на 10^3 , $p < 0,00001$). Аналогичные результаты получены для потомков женского пола в этой возрастной категории (47,3 и 27,7 на 10^3 , $p < 0,00001$), что было обусловлено, преимущественно, вкладом смертности в возрасте до года. К тому же в группе сравнения среди потомков мужского пола отмечался более высокий уровень смертности в возрастных стратах 55–59 лет (соответственно 63,8 и 44,9 на 10^3 , $p = 0,00003$) и старше 65 лет (25,8 и 17,7 на 10^3 , $p = 0,006$). Среди потомков женского пола также отмечалась более высокая частота смертности в группе сравнения, чем в основной, в возрасте 10–14 лет (соответственно 2,8 и 0,8 на 10^3 , $p = 0,027$), 45–49 лет (22,8 и 15,8 на 10^3 , $p = 0,013$) и 60–64 лет (17,9 и 11,8 на 10^3 , $p = 0,013$).

Значимое место в структуре смертности взрослых потомков занимали внешние причины смерти и болезни системы кровообращения, особенно характерные для периода 1990–1999 гг. В частности, ишемическая болезнь сердца, включая острые инфаркты, острую коронарную недостаточность и формы хронической ишемической кардиопатологии, в 90-е годы составляла 92 % всех болезней системы кровообращения, в начале 2000-х – 54,5 %. Указание на высокий уровень смертности мужчин в 90-е годы прошлого столетия в стране приводит В.М. Школьников [17], отмечая травмы, суициды, несчастные случаи и отравления в виде основных предпосылок и особо выделяя 1993 г. с высоким уровнем смертности

от всех причин, за исключением ЗНО, что отличает ситуацию этого года от предыдущих.

При анализе SMR обнаружено, что в сравнении с данными по Российской Федерации смертность от всех причин среди потомков мужского пола в обеих группах и среди потомков женского пола в основной группе была статистически значимо ниже (табл. 2). Дополнительный анализ показал, что онкосмертность среди потомков обеих групп была существенно ниже в сравнении с данными национального стандарта.

Как и при анализе частоты смертности, значимые статистические различия по величине ОРиска получены для классов «Инфекционные болезни», «Болезни органов дыхания» и «Отдельные состояния перинатального периода», риск которых был выше среди потомков необлученных родителей (табл. 3). Итоговая оценка по совокупности причин смерти показала значимое превышение риска в группе сравнения.

Анализ индивидуальных доз производственного внешнего гамма-облучения гонад обозначил, что доза прекоцептивного облучения яичников среди случаев смерти была ниже, чем в целом по группе: 59,1 [0; 329,4] (медиана [нижний квартиль; верхний квартиль]) и 74,4 [0,4; 367,4] мГр соответственно; диапазон доз среди случаев смерти был существенно уже, чем во всей основной группе: 0,1–2772,05 и 0,1–4075,6 мГр соответственно. Аналогичные тенденции прослеживались при анализе прекоцептивного облучения семенников: среди случаев смерти доза 124,6 [7,56; 497,8] мГр, в целом по группе – 126,9 [16,1; 461,8] мГр; диапазон 0,1–5119,8 и 0,1–5653,1 мГр соответственно. При анализе прекоцептивных доз профессионального облучения матерей и отцов не получено статистически значимого превышения риска смерти потомков ни в целом, ни в определенных дозовых интервалах (табл. 4). Вместе с тем ранее проведенный анализ общей смертности потомков с учетом облучения отцов до зачатия показал, что при дозах выше 100 мГр в предшествующий зачатию год риск смерти в когорте потомков-мужчин в 1,6 раза больше, чем

Таблица 2. SMR в сравнении с национальным стандартом

Table 2. Standardized mortality ratio (SMR) compared to the national standard

Смертность	Пол потомков	В основной группе		В группе сравнения	
		SMR	95 % ДИ	SMR	95 % ДИ
Все причины	Мужчины	0,79*	0,76–0,83	0,83*	0,79–0,87
	Женщины	0,79*	0,74–0,84	0,93	0,86–1,0
ЗНО	Мужчины	0,74*	0,65–0,83	0,56*	0,47–0,67
	Женщины	0,78*	0,67–0,9	0,64*	0,51–0,78

Примечание. * – статистически значимые различия.

Таблица 3. Опасность смерти по классам заболеваний

Table 3. Relative risk of death by diseases' classes

Класс болезней по МКБ	Пол потомков	В основной группе		В группе сравнения		ОРиск	95 % ДИ
		n	на 1000	n	на 1000		
Инфекционные болезни	Мужчины	103/6551	15,7	104/3650	28,5	0,54*	0,41–0,72
	Женщины	52/6285	8,3	68/3513	19,4	0,42*	0,29–0,61
	Оба пола	155/12836	12,1	172/7163	24,0	0,50*	0,40–0,62
ЗНО	Мужчины	247/6551	37,7	127/3650	34,8	1,09	0,87–1,35
	Женщины	182/6285	28,9	89/3513	25,3	1,15	0,89–1,48
	Оба пола	429/12836	33,4	216/7163	30,2	1,11	0,94–1,31
Болезни эндокринной системы	Мужчины	33/6551	5,0	14/3650	3,8	1,31	0,70–2,46
	Женщины	26/6285	4,1	15/3513	4,3	0,97	0,51–1,83
	Оба пола	59/12836	4,6	29/7163	4,1	1,14	0,73–1,77
Психические расстройства	Мужчины	135/6551	20,6	77/3650	21,1	0,98	0,74–1,30
	Женщины	32/6285	5,1	19/3513	5,4	0,94	0,53–1,66
	Оба пола	167/12836	13,0	96/7163	13,4	0,97	0,75–1,25
Болезни нервной системы	Мужчины	46/6551	7,0	15/3650	4,1	1,71	0,96–3,07
	Женщины	14/6285	2,2	12/3513	3,4	0,65	0,30–1,41
	Оба пола	60/12836	4,7	27/7163	3,8	1,24	0,79–1,96
Болезни системы кровообращения	Мужчины	487/6551	74,3	289/3650	79,2	0,93	0,80–1,09
	Женщины	124/6285	19,7	89/3513	25,3	0,77	0,59–1,02
	Оба пола	611/12836	47,6	378/7163	52,7	0,9	0,79–1,02
Болезни органов дыхания	Мужчины	94/6551	14,3	79/3650	21,6	0,66*	0,49–0,89
	Женщины	57/6285	9,1	49/3513	13,9	0,65*	0,44–0,95
	Оба пола	151/12836	11,8	128/7163	17,9	0,65*	0,52–0,83
Болезни органов пищеварения	Мужчины	124/6551	18,9	56/3650	15,3	1,24	0,90–1,70
	Женщины	35/6285	5,6	31/3513	8,8	0,63	0,39–1,02
	Оба пола	159/12836	12,4	87/7163	12,1	1,02	0,78–1,33
Отдельные состояния перинатального периода	Мужчины	80/6551	12,2	55/3650	15,1	0,81	0,57–1,14
	Женщины	52/6285	8,3	42/3513	11,9	0,69	0,46–1,04
	Оба пола	132/12836	10,3	97/7163	13,5	0,76*	0,58–0,99
Врожденные аномалии [пороки развития]	Мужчины	24/6551	3,7	16/3650	4,4	0,84	0,44–1,57
	Женщины	20/6285	3,2	15/3513	4,3	0,74	0,38–1,46
	Оба пола	44/12836	3,4	31/7163	4,3	0,79	0,50–1,25
Травмы, отравления и другие последствия внешних причин	Мужчины	617/6551	94,2	321/3650	87,9	1,08	0,94–1,24
	Женщины	118/6285	18,8	72/3513	20,5	0,91	0,68–1,23
	Оба пола	735/12836	57,3	393/7163	54,9	1,05	0,92–1,19
Итого	Мужчины	2016/6551	307,7	1173/3650	321,4	0,94	0,86–1,02
	Женщины	742/6285	118,1	516/3513	146,9	0,78*	0,69–0,88
	Оба пола	2758/12836	214,9	1689/7163	235,8	0,89*	0,83–0,95

Примечание.* – статистически значимые различия.

среди потомков, чьи отцы имели «нулевую» дозу [18]. Дополнительный анализ онкопатологии в зависимости от собственного облучения потомков, ставших впоследствии персоналом ПО «Маяк», не выявил статистически значимых коэффициентов риска в дозовых категориях и в целом: ИО-Риск 0,66 [–1,70–0,93].

Таким образом, в исследовании не подтвердилась значимость вклада прекоцептивного производственного облучения родителей в общую

смертность потомков; отмечены более высокие уровни смертности среди потомков необлученных родителей. В качестве вероятных причин низкой смертности потомков работников ПО «Маяк» следует указать более благоприятные социальные условия жизни персонала предприятия [19]. Так, первичный анализ профессиональных особенностей групп показал существенные различия в социальном статусе родителей на момент рождения детей. Отмечено, что в основной группе удель-

Таблица 4. ИОРиск смерти с учетом прекоцептивного облучения родителей

Table 4. Excess relative risk of death taking into account preconception parental exposure

Дозовые интервалы, мГр	Число потомков	ИО-Риск	95 % ДИ
Прекоцептивное облучение яичников			
0,1–20,0	153	–0,05	[–0,24; 0,16]
20,1–50,0	113	–0,08	[–0,29; 0,15]
50,1–1,0	117	–0,11	[–0,30; 0,11]
100,1–500,0	316	–0,17	[–0,32; –0,01]
500,1–1000,0	132	–0,13	[–0,32; 0,09]
1000,1 и более	111	–0,09	[–0,29; 0,14]
Всего	942	–0,08	[–0,18; –0,04]
Прекоцептивное облучение семенников			
0,1–20,0	207	–0,20	[–0,32; –0,06]
20,1–50,0	209	–0,15	[–0,27; –0,01]
50,1–100,0	241	–0,06	[–0,20; 0,09]
100,1–500,0	722	–0,11	[–0,20; –0,01]
500,1–1000,0	301	–0,12	[–0,24; 0,01]
1000,1 и более	330	–0,12	[–0,23; 0,02]
Всего	2010	–0,02	[–0,08; –0,05]

ный вес рабочих и служащих был статистически значимо больше, а доля студентов – меньше, чем в группе сравнения, среди матерей соотношение составило 10,6:1, в группе сравнения – 3,75:1 ($p < 0,00001$), среди отцов – 1724,3:1 и 194,2:1 соответственно, $p < 0,00001$. Кроме того, важно учесть возможный «эффект здорового рабочего» [20], поскольку все родители в основной группе потомков обязательно проходили тщательное медицинское обследование перед трудоустройством на радиационно-опасный объект, что предполагает более высокие исходные характеристики их здоровья до рождения детей.

Перспективными направлениями развития данной темы могут рассматриваться анализ нерациональных факторов, потенциально влияющих на смертность потомков (в частности, гестационный возраст, течение беременности и родов, вредные привычки и хроническая соматическая патология родителей и др.); последующая оценка влияния факторов социальной среды; дальнейший эпидемиологический мониторинг, так как наблюдаемая когорта потомков сравнительно «молодая» (самому старшему представителю – 73 года, средний возраст – 42,7 года), и эффекты в виде онкозаболеваемости и онкосмертности могут проявиться позже. Последующее наблюдение когорты потомков важно в аспекте обеспечения безопасности труда работников атомной отрасли.

Заключение

Ретроспективный эпидемиологический анализ смертности в когорте из 19 999 человек, у 12 836 из которых родители были работниками ПО «Маяк», показал следующее:

1) в основной группе общая смертность ниже, чем в группе сравнения, среди потомков женского пола (ОРиск 0,78, 95 % ДИ 0,69–0,88) и лиц обоих полов (ОРиск 0,89, 95 % ДИ 0,83–0,95);

2) в основной группе риск смерти от болезней органов дыхания, инфекционной патологии и состояний, характерных для перинатального периода, существенно ниже, чем в группе сравнения;

3) анализ смертности в зависимости от возраста обозначил некоторые возрастные категории со значимым преобладанием смертности в группе сравнения;

4) уровень смертности от всех причин среди потомков мужского пола в обеих группах и среди потомков женского пола в основной группе значительно ниже, чем в РФ;

5) расчет ИОРиска применительно к дозовым нагрузкам внешнего гамма-облучения гонад до зачатия не обозначил превышения оценок риска ни в целом, ни в различных дозовых категориях;

6) отмечена значимость социальных аспектов жизнедеятельности и исходных характеристик здоровья родителей.

Полученные данные могут служить основой для последующего эпидемиологического мониторинга здоровья потомков, родители которых подверглись воздействию радиации на производстве.

Список литературы / References

1. Lawrenz B., Henes M., Neunhoeffer E., Fehm T., Huebner S., Kanz L., Marini P., Mayer F. Pregnancy after successful cancer treatment: what needs to be considered? *Onkologie*. 2012;35(3):128–132. doi: 10.1159/000336830
2. Grant E.J., Furukawa K., Sakata R., Sugiyama H., Sadakane A., Takahashi I., Utada M., Shimizu Y., Ozasa K. Risk of death among children of atomic bomb survivors after 62 years of follow-up: a cohort study. *Lancet Oncol*. 2015;16(13):1316–1323. doi: 10.1016/S1470-2045(15)00209-0
3. Ozasa K., Cullings H.M., Ohishi W., Hida A., Grant E.J. Epidemiological studies of atomic bomb radiation at the Radiation Effects Research Foundation. *Int. J. Radiat. Biol*. 2019;95(7):879–891. doi: 10.1080/09553002.2019.1569778
4. Jordan B. Hiroshima/Nagasaki survivors and their offspring: results of longterm epidemiological studies. *Med. Sci. (Paris)*. 2018;34(2):171–178. doi: 10.1051/medsci/20183402016

5. Ашимова Б.С., Белихина Т.И., Калматаева Ж.А., Апсаликов К.Н. Заболеваемость и смертность среди жителей Казахстана, подвергшихся радиационному воздействию, и их потомков. *Пробл. соц. гигиены, здравоохран. и ист. мед.* 2016;24(2):115–118. doi: 10.1016/0869-866X-2016-24-2-115-118

Ashimova B.S., Belikhina T.I., Kalmataeva Zh.A., Apsalnikov K.N. The morbidity and mortality of residents of Kazakhstan exposed to radiation impact and their posterity. *Problemy sotsial'noy gigieny, zdravookhraneniya i istorii meditsiny = Problems of Social Hygiene, Public Health and History of Medicine.* 2016;24(2):115–118. [In Russian]. doi: 10.1016/0869-866X-2016-24-2-115-118

6. Bazyka D.A., Sushko V.O., Chumak A.A., Fedirko P.A., Talko V.V., Yanovych L.A. State Institution “National research center for radiation medicine of the National Academy of medical sciences of Ukraine” – research activities and scientific advance in 2020. *Probl. Radiac. Med. Radiobiol.* 2021;26:10–17. doi: 10.33145/2304-8336-2021-26-10-17

7. Шалагинов С.А., Аклеев А.В. Подходы к оценке полноты и качества регистров потомков облученного населения. *Радиац. гигиена.* 2020;13(4):17–25. doi: 10.21514/1998-426X-2020-13-4-17-25

Shalaginov S.A., Akleev A.V. Approaches to the assessment of completeness and quality of the registry of exposed population offspring. *Radiatsionnaya gigiena = Radiation Hygiene.* 2020;13(4):17–25. [In Russian]. doi: 10.21514/1998-426X-2020-13-4-17-25

8. Соснина С.Ф., Сокольников М.Э. Наследуемые эффекты у потомков, связанные с вредным воздействием на родителей (обзор литературы). *Радиац. гигиена.* 2019;12(3):84–95. doi: 10.21514/1998-426X-2019-12-3-84-95

Sosnina S.F., Sokolnikov M.E. Heritable effects in offspring associated with harmful exposure to parents (Literature review). *Radiatsionnaya gigiena = Radiation Hygiene.* 2019;12(3):84–95. [In Russian]. doi: 10.21514/1998-426X-2019-12-3-84-95

9. Stram D.O., Sokolnikov M., Napier B.A., Vostrotin V.V., Efimov A., Preston D.L. Lung cancer in the Mayak workers cohort: risk estimation and uncertainty analysis. *Radiat Res.* 2021;195(4):334–346. doi: 10.1667/RADE-20-00094.1

10. Koshurnikova N.A., Kabirova N.R., Bolotnikova M.G., Petrushkina N.P., Shilnikova N.S., Sokolnikov M.E., Vasilenko E.K., Kuznetsova I.S., Okatenko P.V., Kreslov V.V. Characteristics of the register of persons living in childhood near PA Mayak. *Meditsinskaya radiologiya i radiatsionnaya bezopasnost' = Medical Radiology and Radiation Safety.* 2003;(2):27–34.

11. Окатенко П.В., Фомин Е.П., Денисова Е.В., Кузнецова И.С., Сокольников М.Э., Кошурникова Н.А. Канцер-регистр населения г. Озерска:

структура первичных злокачественных новообразований за период с 1948 по 2016 г. *Мед. радиология и радиац. безопасность.* 2021;66(5):85–90. doi: 10.12737/1024-6177-2021-66-5-85-90

Okatenko P.V., Fomin E.P., Denisova E.V., Kuznetsova I.S., Sokol'nikov M.E., Koshurnikova N.A. Cancer registry of population in the city Ozyorsk: structure of malignant neoplasms first diagnosed in period from 1948 to 2016. *Meditsinskaya radiologiya i radiatsionnaya bezopasnost' = Medical Radiology and Radiation Safety.* 2021;66(5):85–90. [In Russian].

12. Царева Ю.В., Окатенко П.В. Структура смертности населения г. Озерска за период 1948–2013 гг. *Вопр. радиац. безопас.* 2023;(1):60–66.

Tsareva Yu.V., Okatenko P.V. Mortality structure of the population of Ozersk for the period 1948–2013. *Voprosy radiatsionnoy bezopasnosti = Radiation Safety Issues.* 2023;(1):60–66. [In Russian].

13. Napier B.A. The Mayak Worker Dosimetry System (MWDS-2013): an introduction to the documentation. *Radiat. Prot. Dosimetry.* 2017;176(1–2):6–9. doi: 10.1093/rpd/ncx020

14. Preston D.L., Lubin J.H., Pierce D.A., McConney M.E. EPICURE User's Guide. Seattle: Hirosoft International Corp, 1993. 330 p.

15. World Health Organization. WHO Mortality Database. Available at: <https://www.who.int/data/data-collection-tools/who-mortality-database>

16. Соснина С.Ф., Кабиров Н.Р., Сокольников М.Э., Окатенко П.В. Гемобластозы у потомков работников радиационно опасных производств. *Анал. риска здоровью.* 2016;(4):23–30. doi: 10.21668/health.risk/2016.4.03

Sosnina S.F., Kabirova N.R., Sokolnikov M.E., Okatenko P.V. Hemoblastoses in offspring of radiation-hazardous industries workers. *Analiz riska zdorov'yu = Health Risk Analysis.* 2016;(4):23–30. doi: 10.21668/health.risk/2016.4.03 [In Russian].

17. Школьников В.М. Население России: смертность, продолжительность жизни. *Социологич. ж.* 1995;(1):167–174.

Shkol'nikov V.M. The population of Russia: mortality, life duration. *Sotsiologicheskii zhurnal = Sociological Journal.* 1995;(1):167–174. [In Russian].

18. Кабиров Н.Р., Окатенко П.В. Последствия отцовского облучения: показатели общей смертности среди потомков. *Вопр. радиац. безопас.* 2020;(1):62–75.

Kabirova N.R., Okatenko P.V. Effects of paternal exposure: general mortality rates among offspring. *Voprosy radiatsionnoy bezopasnosti = Radiation Safety Issues.* 2020;(1):62–75. [In Russian]

19. Волосников Д.К., Соснина С.Ф. Медико-социальная характеристика семей, проживающих в закрытом административном территориальном образовании (г. Озерск), имеющих детей подросткового возраста. *Социол. мед.* 2010;(2):59–61.

Volosnikov D.K., Sosnina S.F. The medical social characteristics of families with children of adolescent age residing in the closed administrative territorial formation "Ozersk". *Sotsiologiya meditsiny = Sociology of Medicine*. 2010; (2):59–61. [In Russian].

20. Трубецков А.Д., Жиров К.С. «Эффект здорового рабочего» в различных областях медицины труда (обзор). *Пробл. соц. гигиены, здравоохран. и ист. мед.* 2021;29(2):254–259. doi: 10.32687/0869-866X-2021-29-2-254-259

Trubetskov A.D., Zhirov K.S. "The effect of healthy worker" in various areas of occupational medicine: the publications review. *Problemy sotsial'noy gigieny, zdravookhraneniya i istorii meditsiny = Problems of Social Hygiene, Public Health and History of Medicine*. 2021;29(2):254–259. doi: 10.32687/0869-866X-2021-29-2-254-259. [In Russian].

Сведения об авторах:

Соснина Светлана Фаридовна, к.м.н., ORCID: 0000-0003-1553-0963, e-mail: sosnina@subi.su

Окatenко Павел Викторович, ORCID: 0000-0002-8260-1808, e-mail: okatenko@subi.su

Сокольников Михаил Эдуардович, д.м.н., ORCID: 0000-0001-9492-4316, e-mail: sokolnikov@subi.su

Information about the authors:

Svetlana F. Sosnina, candidate of medical sciences, ORCID: 0000-0003-1553-0963, e-mail: sosnina@subi.su

Pavel V. Okatenko, ORCID: 0000-0002-8260-1808, e-mail: okatenko@subi.su

Mikhail E. Sokolnikov, doctor of medical sciences, ORCID: 0000-0001-9492-4316, e-mail: sokolnikov@subi.su

Поступила в редакцию 14.06.2024

После доработки 09.07.2024

Принята к публикации 14.11.2024

Received 14.06.2024

Revision received 09.07.2024

Accepted 14.11.2024