МЕТОДИЧЕСКОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ РАБОТ ПО ВЫВОДУ ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБЪЕКТОВ АТОМНОЙ ОТРАСЛИ

Д. Е. Калинкин[1,2] ✉, А. Р. Тахауов[1], Л. Р. Тахауова[1,2], И. В. Мильто[1,2], Р. М. Тахауов[1,2]

[1] Северский биофизический научный центр Федерального медико-биологического агентства, Северск, Россия

[2] Сибирский государственный медицинский университет, Томск, Россия

Безопасность персонала является приоритетом при выводе из эксплуатации устаревших объектов атомной отрасли. Целью исследования было разработать методические основы медико-санитарного обеспечения радиационной безопасности персонала предприятия атомной отрасли при ликвидации ядерного наследия на примере Сибирского химического комбината (СХК) г. Северск. Исследование проведено на основании сведений медико-дозиметрического регистра персонала СХК, содержащего информацию обо всех случаях смерти (с указанием причины) бывших и действующих работников предприятия. В результате работы обоснован выбор территории для разработки научно-методического сопровождения работ в области медико-санитарного обеспечения радиационной безопасности при ликвидации объектов ядерного наследия. Проанализированы показатели смертности населения выбранной территории и риски смертности персонала предприятия атомной индустрии вследствие злокачественных новообразований некоторых локализаций (трахея, бронхи, легкое, кожа, желудок, толстая кишка, лимфоидной, кроветворной и родственных им тканей, молочная и предстательная железы). Определены направления совершенствования медицинского обеспечения персонала предприятия атомной индустрии и населения зон наблюдения при ликвидации ядерного наследия. Полученные данные позволят скорректировать медицинское сопровождение персонала предприятия атомной отрасли с целью продления трудового долголетия работников, а также снизить негативные радиационно обусловленные последствия на здоровье людей, задействованных в ликвидации объектов ядерного наследия.

Ключевые слова: ядерное наследие, радиационная безопасность, предприятие атомной индустрии, персонал

Финансирование: исследование выполнено в рамках Федеральной целевой программы «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2016–2020 годы и на период до 2030 года», государственный контракт от 02.06.2020 № 56.002.20.2.

Вклад авторов: Д. Е. Калинкин — планирование исследования, сбор, анализ и интерпретация данных, анализ литературы, подготовка черновика рукописи; А. Р. Тахауов — сбор данных, подготовка черновика рукописи; Л. Р. Тахауова — сбор данных, анализ литературы; И. В. Мильто — концепция и дизайн исследования, подготовка черновика рукописи; Р. М. Тахауов — концепция и дизайн исследования.

✉ **Для корреспонденции:** Дмитрий Евгеньевич Калинкин
а/я № 130, г. Северск-13, ЗАТО Северск, Томская область, Россия, 636013; kalinkin750@gmail.com

Статья получена: 02.11.2022 **Статья принята к печати:** 14.12.2022 **Опубликована онлайн:** 24.12.2022

DOI: 10.47183/mes.2022.044

METHODOLOGICAL SUPPORT OF ACTIVITIES ON DECOMMISSIONING THE NUCLEAR FACILITIES

Kalinkin DE[1,2] ✉, Takhauov AR[1], Takhauova LR[1,2], Milto IV[1,2], Takhauov RM[1,2]

[1] Seversk Biophysical Research Center of the Federal Medical Biological Agency, Seversk, Russia

[2] Siberian State Medical University, Tomsk, Russia

Personnel safety is a priority when decommissioning obsolete nuclear facilities. The study was aimed to develop the methodological basis for the medical and sanitary support of the nuclear industry enterprise personnel radiation safety during the nuclear legacy elimination on the example of Siberian Chemical Plant (SCP, Seversk). The study involved the data of the SCP employees' medical and dosimetric register containing information about all cases of death (with an indication of the cause) of former and current employees of the enterprise. The study results were used to justify selection of the area for development of scientific and methodological support of activities in the field of medical and sanitary support of radiation safety during the nuclear legacy elimination. Death rates and the risk of dying from cancer of certain localizations (trachea, bronchi, lung, skin, stomach, colon, lymphoid, hematopoietic and related tissues, breast and prostate glands) in the nuclear industry enterprise employees were assessed. The directions for improving the medical support of the nuclear enterprise employees and the population of the surveillance zones during the nuclear legacy elimination were defined. The findings will make it possible to adjust the medical support of the nuclear industry enterprise employees in order to extend their working longevity, as well as to reduce the adverse radiation-induced health effects in people engaged in the nuclear legacy elimination.

Keywords: nuclear legacy, radiation safety, nuclear industry enterprise, personnel

Funding: the study was carried out within the framework of the Federal Target Program “Ensuring Nuclear and Radiation Safety in 2016–2020 and During the Period of up to 2030”, state contract № 56.002.20.2 of 02.06.2020.

Author contribution: Kalinkin DE — study planning, data acquisition, analysis, and interpretation, literature analysis, draft manuscript writing; Takhauov AR — data acquisition, draft manuscript writing; Takhauova LR — data acquisition, literature analysis; Milto IV — study concept and design, study concept and design; Takhauov RM — study concept and design.

✉ **Correspondence should be addressed:** Dmitry E. Kalinkin
P.O. box 130, Seversk-13, Closed Administrative-Territorial Unit Seversk, Tomsk Region, Russia, 636013; kalinkin750@gmail.com

Received: 02.11.2022 **Accepted:** 14.12.2022 **Published online:** 24.12.2022

DOI: 10.47183/mes.2022.044

В связи с интенсивным развитием атомной отрасли в России в последние десятилетия все актуальнее становится проблема вывода из эксплуатации устаревших производств и объектов использования атомной энергии, выработавших свой проектный ресурс. При проведении данных работ одним из основных приоритетов, декларируемых Госкорпорацией «Росатом», является обеспечение безопасности персонала указанных предприятий, а также населения и окружающей среды в районе их расположения [1].

Некоторые предприятия атомной отрасли России функционируют более 60 лет и неизбежно приближаются

к срокам планового выведения из эксплуатации. За более чем 75-летнюю историю развития отечественной атомной энергетики технологии, оборудование и виды топлива существенно изменились, что в ряде случаев делает невозможным модернизацию существующих предприятий атомной отрасли. В связи с этим возникает задача плановой ликвидации объектов ядерного наследия различных этапов развития атомной отрасли, в том числе с возможностью повторного использования этих территорий для создания новых инфраструктурных объектов атомной промышленности. Эта сложная задача может быть решена только в результате совместной работы специалистов из различных областей (инженеров, экологов, биологов и др.) и предварительной разработки научно обоснованного методического сопровождения, учитывающего особенности ликвидируемого объекта ядерного наследия [1, 2].

Одним из важнейших направлений работ, предшествующих безопасному выведению из эксплуатации объектов использования атомной энергии, является медико-санитарное обеспечение радиационной безопасности персонала ликвидируемого предприятия атомной индустрии и населения зон наблюдения [1].

Научно-методическое сопровождение работ в области обеспечения радиационной безопасности при выведении из эксплуатации объектов использования атомной энергии требует оценки медико-биологических эффектов воздействия ионизирующего излучения (ИИ) на персонал предприятий атомной отрасли, а также установления радиогенных рисков у работников этих предприятий и должно разрабатываться с учетом особенностей производства (вида технологии, радионуклидного спектра, типа излучения и др.) [2, 3].

Источником специфичной информации для проведения подобных исследований в каждом конкретном случае должен быть медико-дозиметрический регистр (МДР) персонала предприятия атомной отрасли и населения прилежащей территории, а также данные организаций, осуществляющих наблюдение за условиями производственных процессов на основных объектах предприятия и состоянием здоровья его персонала [4].

Научно-методическое сопровождение работ при ликвидации объектов ядерного наследия позволит определить основные медико-биологические последствия для здоровья персонала, задействованного в работах по выводу из эксплуатации объектов использования атомной энергии, и определить комплекс мероприятий, направленных на продление их трудового долголетия [3].

На современном этапе развития атомной отрасли России, учитывая существенный прогресс, достигнутый в последние годы в области радиационной безопасности, следует акцентировать внимание на оценке эффектов ИИ (например, канцерогенном риске), предполагающих накопление суммарной дозы внешнего облучения (СДВО) не более 100 мЗв [1].

Результаты многочисленных эпидемиологических исследований не позволяют сделать однозначный вывод о наличии повышенного риска заболевания и смерти вследствие злокачественных новообразований (ЗНО) у лиц, работающих в условиях воздействия техногенного ИИ. Одним исследователям удалось выявить повышенный относительный риск смерти вследствие ЗНО среди персонала объектов использования атомной энергии [2–4], в то время как другие указывают на отсутствие повышения относительных рисков заболевания или смерти вследствие ЗНО у персонала этих производств [5–7].

Методическое сопровождение работ для обеспечения работ при ликвидации ядерного наследия требует внедрения высокотехнологичных методов перманентного медико-санитарного наблюдения, направленного на выявление медицинских последствий радиационного воздействия на персонал, задействованный в выведении из эксплуатации объекта ядерного наследия, например внедрение автоматизированной системы медицинского мониторинга здоровья прикрепленного контингента, а также создание и ведение МДР работников выводимого из эксплуатации предприятия атомной отрасли.

Целью исследования была разработка методических основ медико-санитарного обеспечения радиационной безопасности персонала предприятия атомной отрасли при ликвидации ядерного наследия на примере Сибирского химического комбината (СХК) г. Северск.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Получение научно обоснованных результатов работы невозможно без применения адекватной методики исследования, т. е. правильного выбора объекта и методов исследования. Если методы исследования и обеспечительный математический аппарат, как правило, хорошо известны и их выбор не представляет трудности (в большинстве случаев это методы эпидемиологической оценки рисков возникновения стохастических эффектов воздействия ИИ на персонал радиационно опасных производств — в первую очередь, ЗНО), то выбор объекта и, соответственно, территории исследования представляет собой трудную практическую задачу. Объект исследования и территория его расположения должны отвечать ряду требований.

1. Объект исследования (предприятие атомной индустрии) должен иметь как можно более длительный период безаварийной работы, вывод подобных объектов из эксплуатации имеет плановый характер и требует соответствующего научно-методического сопровождения. Наличие в истории объекта аварий, сопровождавшихся выбросом в окружающую среду радионуклидов, «аварийным» облучением персонала и населения прилегающей территории, требует разработки качественно иного научно-методического сопровождения.

2. Разработка названного научно-методического сопровождения невозможна без наличия МДР персонала предприятия и населения зоны наблюдения, в котором учтены дозы профессионального облучения и все случаи ЗНО. В свою очередь, полноценное ведение МДР возможно лишь на закрытой в административном отношении территории, где медицинское обеспечение персонала радиационно опасного предприятия и населения зон наблюдения централизованно осуществляет одна медицинская организация.

Исходя из вышеизложенного, закрытое административно-территориальное образование (ЗАТО) Северск является оптимальной площадкой для разработки методического сопровождения работ по плановому выведению из эксплуатации объектов ядерного наследия. ЗАТО Северск сформировано вокруг г. Северска, градообразующим предприятием по отношению к которому является СХК, чьи первые предприятия (например, сублиматное и разделительное производства) введены в эксплуатацию в 1953 г. На протяжении более 60 лет функционирования СХК не было зарегистрировано крупных аварий с выбросом радионуклидов в окружающую

среду. Самый крупный радиационный инцидент произошел в 1993 г. на радиохимическом заводе СХК, который был отнесен к третьему уровню по международной семибалльной шкале ядерных событий.

Медицинское сопровождение населения ЗАТО Северск (105 238 человек, по данным на 2022 г.), включая работников СХК, обеспечивает одна крупная медицинская организация — Федеральное государственное бюджетное учреждение «Сибирский федеральный научно-клинический центр» ФМБА России (СибФНКЦ).

На базе Северского биофизического научного центра ФМБА России (СБН Центр) создан МДР персонала СХК, база данных которого содержит актуальную информацию обо всех работниках предприятия за все годы деятельности СХК, данные обо всех случаях смерти (с указанием причины) бывших и действующих работников СХК в ЗАТО Северск, данные о важнейших неинфекционных социально значимых заболеваниях работников СХК.

В когорту персонала СХК включены все работники (независимо от вида производства), поступившие на СХК в период с 1 января 1950 г. по 31 декабря 2020 г. и проработавшие не менее одного года.

В структуру СХК входят предприятия основного и вспомогательного производств (ОП и ВП соответственно).

К предприятиям ОП СХК относятся реакторное (РП), радиохимическое (РХП), плутониевое (ПП), разделительное (РдП) и сублиматное (СП).

Персонал четырех производств (РХП, ПП, РдП и СП) подвергается в основном сочетанному облучению, персонал РП — исключительно внешнему облучению и может служить группой контроля при оценке вклада внутреннего облучения в формирование радиационных эффектов.

В отношении работников СХК на сегодняшний день база данных МДР содержит информацию:

– об общей численности работников СХК, нанятых в период с 1950 г. в зависимости от вида производства (следует подчеркнуть, что с момента формирования базы данных МДР вносится информация относительно всех работников СХК, зарегистрированных в отделе кадров предприятия, за весь период деятельности комбината; такой подход дает возможность формировать разнообразные контрольные группы в зависимости от широкого круга научных задач);

– об индивидуальных дозах облучения и динамике накопления доз;

– о количестве умерших работников СХК;

– о работниках СХК, заболевших ЗНО.

Все имеющиеся данные хранятся в электронном виде, а также на бумажных носителях в архиве.

В табл. 1 содержатся сведения о работниках, нанятых на предприятия ОП СХК в период с 1950 по 2019 г.

В табл. 2 и 3 представлена демографическая характеристика населения ЗАТО Северск в 1970–2019 гг.

В период 1970–2019 гг. общая численность населения (всех возрастных групп) ЗАТО Северск увеличилась, равно как и численность взрослого населения. Наиболее заметно возросло число лиц в возрасте 60 лет и старше. В то же время доля детского населения существенно уменьшилась: с 29,5% в период 1970–1974 гг. до 15,8% в период 2015–2019 гг. Доля мужчин в структуре населения снизилась с 48,6% в период 1970–1974 гг. до 46,3% в период 2015–2019 гг.

В период наблюдения существенно снизилась рождаемость и увеличилась смертность населения, что стало причиной его естественной убыли. Причиной указанных процессов послужило изменение демографической структуры населения, а именно его старение. В то же время значительно увеличилась ожидаемая продолжительность жизни населения.

Показатели, используемые в работе, и источники информации для их расчета представлены в табл. 4.

Риски смертности персонала СХК вследствие ЗНО оценивали на основании расчета стандартизованного относительного риска (СОР).

СОР рассчитывали по формуле:

$$COP = \frac{\Phi}{O}$$

где Ф — фактическое число случаев заболевания или смерти; О — ожидаемое число случаев заболевания или смерти.

Верхнюю и нижнюю границы 95%-го доверительного интервала СОР вычисляли по формулам:

$$HГ = COP \times (1 - \frac{1,96}{2 \times \sqrt{\Phi}})^2$$

$$BГ = COP \times (1 + \frac{1,96}{2 \times \sqrt{\Phi + 1}})^2 \times \frac{\Phi + 1}{\Phi}$$

где ВГ — верхняя граница и НГ — нижняя граница.

Считалось, что заболеваемость в исследуемой группе статистически значимо превышает таковую в группе сравнения, если нижняя граница доверительного интервала СОР была больше 1.

Для оценки зависимости СОР от увеличения СДВО использовали разделение персонала на подгруппы с различной СДВО. В качестве группы сравнения

Таблица 1. Характеристика когорты работников СХК, нанятых в период с 01 января 1950 г. по 31 декабря 2019 г.

Показатель	Пол	РП	РХП	ПП	РдП	СП	ВП
Общее число работников	М	6651	5272	7569	4935	3581	21 373
	Ж	1323	1115	2267	1492	1101	8766
Число работников с установленным жизненным статусом	М	5493	4454	6561	3389	2477	13 343
	Ж	1165	1019	2120	1143	865	6643
Число работников, умерших вследствие ЗНО	М	418	286	456	300	226	1312
	Ж	101	80	171	103	79	579
Число работников, находившихся на индивидуальном дозиметрическом контроле по внешнему облучению	М	5171	4632	3254	1113	1935	2043
	Ж	710	802	832	309	487	847
Число работников, находившихся на индивидуальном дозиметрическом контроле по внутреннему облучению	М	86	1990	3491	534	1039	163
	Ж	14	441	1100	270	322	121

Таблица 2. Демографическая характеристика взрослого населения ЗАТО Северск в 1970–2019 гг.

Категория населения	Интервал изучаемого периода, годы							
	1970–1974	1980–1984	1990–1994	1995–1999	2000–2004	2005–2009	2010–2014	2015–2019
Все население	87 121 ± 2302,0	97 763,2 ± 1310,1	109 230,0 ± 1580,6	111 701,4 ± 344,2	110 816,4 ± 1732,9	109 949,7 ± 3500,7	115 511,1 ± 750,0	113 728,8 ± 861,5
Взрослые	57 019,3 ± 1792,0	68 548,4 ± 965,9	78 609,4 ± 2048,1	84 024,0 ± 1667,0	88 255,6 ± 695,8	91 036,6 ± 3313,3	95 679,0 ± 674,1	92 716,8 ± 909,1
Лица 60 лет и старше	4 140,1 ± 268,9	5 724,3 ± 254,9	11 402,4 ± 1117,8	15 462,8 ± 1592,5	19 223,0 ± 486,3	20 021,3 ± 1236,4	21 335,7 ± 5821,3	26 783,8 ± 1207,7
Мужчины трудоспособного возраста	27 252,9 ± 775,9	30 946,1 ± 882,1	33 790,4 ± 661,9	35 095,2 ± 320,0	35 282,6 ± 208,0	35 919,0 ± 996,5	36 210,6 ± 512,1	33 599,9 ± 754,1
Женщины трудоспособного возраста	27 480,3 ± 551,9	29 670,0 ± 877,1	32 743,2 ± 224,3	33 029,4 ± 697,1	34 487,2 ± 557,2	33 709,9 ± 816,6	33 207,0 ±1006,2	29 699,6 ± 862,9

(стандарта) использовали показатели заболеваемости (или смертности) среди работников СХК без зарегистрированных доз облучения, или работников, профессиональная деятельность которых осуществлялась вне контакта с источниками техногенного облучения. Применяли прямой метод стандартизации, стратификацию по возрасту не проводили. При этом расчеты выполняли дважды: вначале для дозовых интервалов с четко определенными нижней и верхней границами СДВО (0–20 мЗв, 20–50 мЗв, 50–100 мЗв, 100–150 мЗв, 150–200 мЗв, 200–300 мЗв, 300–500 мЗв и 500–1000 мЗв), а затем для более широких интервалов, для которых было установлено только нижнее пороговое значение (> 0 мЗв, > 100 мЗв, > 200 мЗв, > 300 мЗв, > 500 мЗв), поскольку расширение интервала (и, соответственно, увеличение количества человеко-лет наблюдения) повышает статистическую значимость результатов исследования.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Сведения относительно смертности мужского и женского населения ЗАТО Северск вследствие ЗНО бронхов, трахеи, легкого, желудка, толстой кишки, лимфоидной, кроветворной и родственных им тканей, молочной и предстательной желез, кожи в период 1970–2019 гг. представлены в табл. 5 и 6.

На протяжении изучаемого периода отмечен рост смертности мужского населения ЗАТО Северск вследствие ЗНО желудка, толстой кишки, бронхов, легкого и предстательной железы (табл. 5).

Среди женщин тенденция (в том числе смертность вследствие ЗНО молочной железы) аналогична; исключение составила смертность вследствие ЗНО желудка, которая, преодолев свой максимум в период 2005–2009 гг., к периоду 2015–2019 гг. снизилась до 25,4 случаев на 100 000 человек (табл. 6).

В табл. 7 и 8 представлен СОР смерти в зависимости от СДВО персонала СХК вследствие ЗНО трахеи, бронхов, легкого, кожи, желудка, толстой кишки, лимфоидной, кроветворной и родственных им тканей, а также молочной и предстательной желез в период с 01 января 1970 г. до 31 декабря 2019 г. Под СДВО следует понимать эффективную дозу внешнего облучения, накопленную работником за весь период работы на предприятии атомной отрасли.

Ввиду относительно небольшого объема выборки анализ проводили без учета возраста работников и календарных периодов наблюдения.

Среди мужского персонала СХК анализировали ЗНО органов пищеварительной системы (желудок и толстая кишка), органов дыхательной системы (трахея, бронхи, легкое), кожи, органов мужской половой системы (предстательная железа), лимфоидной, кроветворной и родственных им тканей. Выбор для анализа ЗНО данных органов и тканей обусловлен тем, что эти локализации наиболее распространены в ЗАТО Северск среди мужчин, не подвергавшихся воздействию техногенного ИИ.

Анализируемый диапазон охватывает «малые» дозы ИИ (до 100 мЗв), типичные для штатных условий труда на современных предприятиях атомной отрасли, и «средние» дозы ИИ (до 1 Зв), возможные при внештатных радиационных ситуациях на предприятиях атомной отрасли.

Среди мужчин — работников СХК, подвергавшихся облучению ИИ при осуществлении своей профессиональной деятельности, повышен СОР смерти вследствие ЗНО предстательной железы у работников, СДВО которых составляла 200–1000 мЗв (табл. 4).

Среди женского персонала СХК также анализировали ЗНО молочной железы, органов пищеварительной системы (желудок и толстая кишка), органов дыхательной системы (трахея, бронхи, легкое), кожи, лимфоидной, кроветворной и родственных им тканей. Выбор для анализа ЗНО данных

Таблица 3. Основные демографические показатели в ЗАТО Северск в период 1970–2019 гг. (на 1000 человек)

Показатель	Интервал изучаемого периода, годы							
	1970–1974	1980–1984	1990–1994	1995–1999	2000–2004	2005–2009	2010–2014	2015–2019
Рождаемость	18,7 ± 1,7	16,9 ± 0,9	10,6 ± 2,1	8,1 ± 0,4	8,5 ± 0,2	9,6 ± 1,0	10,9 ± 0,3	9,4 ± 1,5
Смертность	3,8 ± 0,1	5,7 ± 0,3	8,9 ± 2,1	10,2 ± 0,4	12,1 ± 0,9	12,2 ± 0,6	11,9 ± 0,4	12,5 ± 0,2
Естественный прирост	14,9 ± 1,8	11,2 ± 0,7	1,8 ± 4,2	–2,1 ± 0,5	–3,6 ± 0,8	–2,6 ± 1,1	–1,1 ± 0,4	–3,1 ± 0,2
Ожидаемая продолжительность жизни, годы	72,46 ± 0,48	71,18 ± 0,55	68,67 ± 2,89	68,60 ± 1,36	68,44 ± 0,88	70,89 ± 0,38	73,25 ± 0,60	74,25 ± 0,63

Таблица 4. Показатели и источники информации, использованные при проведении исследования

Изучаемый показатель	Источник информации
Показатели смертности населения ЗАТО Северск вследствие ЗНО в период 1970–2019 гг.	Сведения, полученные из: – Территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Томской области (Томскстат); – ФГБУ СибФНКЦ ФМБА России; – базы данных регионального МДР населения ЗАТО Северск и персонала СХК, содержащей уточненную информацию обо всех случаях смерти населения ЗАТО Северск вследствие ЗНО ведущих локализаций (трахея, бронхи, легкое, кожа, желудок, толстая кишка, лимфоидная, кроветворная и родственные им ткани, молочная и предстательная железы) в период 1970–2019 гг.
Риск смертности персонала предприятия атомной индустрии вследствие ЗНО в период с 01 января 1970 г. до 31 декабря 2019 г.	Сведения, полученные из базы данных регионального МДР населения ЗАТО Северск и персонала СХК, содержащей уточненную информацию обо всех случаях смерти персонала СХК вследствие ЗНО ведущих локализаций (трахея, бронхи, легкое, кожа, желудок, толстая кишка, лимфоидная, кроветворная и родственные им ткани, молочная и предстательная железы) в период 1970–2019 гг.

органов и тканей обусловлен тем, что они наиболее распространены в ЗАТО Северск среди женщин, не подвергавшихся воздействию техногенного ИИ.

Статистическая точность данных по женскому персоналу уступает аналогичным показателям у мужского персонала из-за небольшого объема выборки в связи с существенно меньшим количеством женщин, задействованных в работе с источниками ИИ.

Отсутствие данных по ЗНО некоторых локализаций у женского персонала в «средних» дозах ИИ (например, трахея, бронхи, легкое, кожа, лимфоидная, кроветворная и родственные им ткани) обусловлено крайне малым объемом выборки, недостаточным для проведения статистического анализа.

Среди женского персонала СХК повышен СОР смерти вследствие ЗНО трахеи, бронхов и легкого, желудка, толстой кишки, кожи, молочной железы, а также лимфоидной, кроветворной и родственных им тканей у работниц, СДВО которых достигала 100–150 мЗв.

Особо стоит отметить, что СОР смерти вследствие ЗНО трахеи, бронхов и легкого, а также молочной железы был повышен среди женского персонала, СДВО которых составляла 0–20 мЗв (табл. 8).

Совершенствование медицинского обеспечения персонала при ликвидации объектов ядерного наследия следует осуществлять в три этапа.

Первый этап — определение факторов риска нарушения здоровья названного контингента граждан.

Формирование комплекса факторов риска включает:

– оценку демографических показателей (рождаемость, смертность, естественный прирост), ожидаемой продолжительности жизни и показателей инвалидизации в изучаемой популяции;

– исследование структуры заболеваемости в изучаемой популяции и выявление наиболее распространенных заболеваний;

– выявление факторов риска с установлением потенциально управляемых (модифицируемых) факторов риска, таких как социально-экономические, поведенческие, медико-организационные и техногенные.

Второй этап — формулировка предложений по коррекции в данной популяции наиболее распространенных заболеваний и выявленных факторов риска. Так, из проведенной работы следует, что основной акцент при разработке стратегии медицинского обеспечения персонала, задействованного в работе по выводу из эксплуатации объектов ядерного наследия, следует сделать на профилактике и диагностике ЗНО.

Третий этап — разработка стратегии медицинского обеспечения персонала, задействованного в работе по выводу из эксплуатации объектов ядерного наследия, путем коррекции действующей стратегии с учетом новых данных о состоянии здоровья изучаемого контингента граждан (демографические данные, сведения о заболеваемости и инвалидности) и о факторах риска для данной популяции.

Согласно результатам исследования среди мужского персонала СХК повышен СОР смерти вследствие ЗНО предстательной железы, среди женского персонала — СОР смерти вследствие ЗНО трахеи, бронхов и легкого, желудка, толстой кишки, кожи, молочной железы, а также лимфоидной, кроветворной и родственных им тканей.

Исходя из вышеприведенных данных, а также в соответствии с целями и мероприятиями национального проекта «Здравоохранение» и федерального проекта «Борьба с онкологическими заболеваниями», следует разработать стратегию медицинского сопровождения персонала, задействованного в работе по выводу из эксплуатации объектов ядерного наследия. В частности, определить для работников, участвующих в ликвидации объектов ядерного наследия, дополнительные инструментальные и лабораторные исследования, направленные на диагностику онкологических заболеваний

Таблица 5. Смертность взрослого мужского населения ЗАТО Северск вследствие ЗНО в период 1970–2019 гг. (на 100 000 человек; групповая средняя)

Локализация ЗНО (код МКБ-10)	Интервал изучаемого периода, годы									
	1970–1974	1975–1979	1980–1984	1985–1989	1990–1994	1995–1999	2000–2004	2005–2009	2010–2014	2015–2019
Желудок (С16)	19	22,4	20,5	19	18,4	25,9	38,3	44	43,1	24,6
Толстая кишка (С18)	0	0	2,2	10,2	14,9	12,2	14,3	22,4	26	26,3
Трахея (С33)	0	0	0	0	0,7	1,5	0,8	1,9	1,9	0,8
Бронхи и легкое (С34)	11,2	10,2	36,1	50,8	65,7	80	75,6	80,1	70	99
Кожа (С43–44)	0	0	1	2	0,8	2,6	2,8	2,9	3,7	2,8
Предстательная железа (С61)	2,3	1,7	0,5	0,7	6	8,7	14,3	19,8	24,6	29,3
Лимфоидная, кроветворная и родственные им ткани (С81–96)	5,3	6	9,2	8,4	11	13,2	20,8	9,5	18,3	25,2

Таблица 6. Смертность взрослого женского населения ЗАТО Северск вследствие ЗНО в период 1970–2019 гг. (на 100 000 человек; групповая средняя)

Локализация ЗНО (код МКБ-10)	Интервал изучаемого периода, годы									
	1970–1974	1975–1979	1980–1984	1985–1989	1990–1994	1995–1999	2000–2004	2005–2009	2010–2014	2015–2019
Желудок (С16)	31,3	15,9	24,7	27,2	18,9	21,7	19,6	38,8	15,9	25,4
Толстая кишка (С18)	4,5	4,3	7,7	7,4	16,3	6,8	23,5	18	19,5	22,5
Трахея (С33)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Бронхи и легкое (С34)	6,8	2,3	9,7	7,6	12,4	3,5	15,5	9,8	11,4	24,5
Кожа (С43–44)	0,3	2,2	0,4	0,6	1,9	3,6	13,8	8,4	3,4	4,5
Молочная железа (С50)	4,8	12,9	15	18,9	19,1	25,9	30,2	36,5	38,4	30,6
Лимфоидная, кроветворная и родственные им ткани (С81–96)	4,9	12,9	9,5	5,3	17,4	22,3	19,9	8,1	9,1	15,9

во время прохождения периодических медицинских осмотров (в первую очередь, по выявленным локализациям ЗНО).

В соответствии с федеральным проектом «Борьба с онкологическими заболеваниями» к 2024 г. смертность населения вследствие ЗНО должна составлять не более 185 случаев на 100 000 человек. Целесообразно принять данные индикаторы в качестве целевых при разработке стратегии охраны здоровья персонала, задействованного в работе по выводу из эксплуатации объектов ядерного наследия.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Одним из направлений обеспечения ядерной безопасности является организация выведения из эксплуатации объектов атомной промышленности, выработавших свой технологический ресурс. Безопасное выведение из эксплуатации объекта атомной промышленности, в свою очередь, невозможно без медико-санитарного сопровождения [1].

В связи с этим целью настоящего исследования была разработка методических основ медико-санитарного обеспечения радиационной безопасности персонала предприятия атомной отрасли при ликвидации объекта ядерного наследия, на примере СХК (ЗАТО Северск). Для ее достижения были решены следующие задачи: обоснован выбор территории для разработки методического сопровождения работ по обеспечению радиационной безопасности при ликвидации объектов ядерного наследия; определены показатели смертности населения выбранной территории вследствие ЗНО наиболее распространенных локализаций; проведен анализ рисков смертности вследствие ЗНО наиболее распространенных локализаций персонала, который задействован в выведении из эксплуатации предприятия атомной отрасли, являющегося объектом ядерного наследия; определены направления совершенствования медицинского обеспечения персонала, задействованного в работах по ликвидации объекта ядерного наследия.

В рамках исследования удалось обосновать возможность использования ЗАТО Северск в качестве площадки для разработки методического сопровождения работ по плановому выведению из эксплуатации объектов ядерного наследия. Анализ смертности мужского и женского персонала СХК вследствие ЗНО бронхов, трахеи, легкого, желудка, толстой кишки, лимфоидной, кроветворной и родственных им тканей, молочной и предстательной желез, кожи в период 1970–2019 гг. позволил выявить рост изучаемого показателя, за исключением ЗНО желудка среди женщин. Очевидно, что рост онкологической смертности среди представителей изучаемой популяции обусловлен, в первую очередь, старением последней, о чем наглядно говорит представленная выше динамика численности основных возрастных групп. Анализ СОР смерти работников СХК вследствие ЗНО ключевых локализаций позволил выявить статистически значимое повышение (в сравнении с «необлученными» работниками) изучаемого показателя в отношении ЗНО предстательной железы у мужчин, а также вследствие ЗНО трахеи, бронхов и легкого, желудка, толстой кишки, кожи, молочной железы, лимфоидной, кроветворной и родственных им тканей у женщин. Полученные данные совпадают (в самом общем виде) с результатами, полученными другими исследователями [2–4]. Однако, по мнению авторов настоящего исследования, его результаты не могут служить основанием для окончательных выводов относительно влияния ИИ на возникновение ЗНО у работников предприятий атомной индустрии. Вследствие этого, необходимо продолжение исследований на более обширной выборке персонала.

В рамках настоящего исследования сформулированы основные этапы совершенствования медицинского обеспечения персонала при ликвидации объектов

Таблица 7. СОР смерти вследствие ЗНО мужского персонала предприятия атомной индустрии в зависимости от СДВО (95%-й доверительный интервал)

Локализация ЗНО	СДВО, мЗв							
	0–20	> 20–50	> 50–100	> 100–150	> 150–200	> 200–300	> 300–500	> 500–1000
Желудок и толстая кишка	0,68 (–0,11–5,18)	0,70 (–0,10–0,94)	1,06 (0,04–1,34)	0,49 (–0,16–0,69)	0,73 (–0,09–0,97)	0,74 (–0,09–0,98)	0,98 (0,01–1,25)	1,25 (0,14–1,56)
Трахея, бронхи и легкое	0,52 (–0,15–4,90)	0,48 (–0,16–0,70)	0,66 (–0,11–0,92)	0,54 (–0,15–0,77)	1,24 (0,13–1,58)	1,09 (0,06–1,41)	0,49 (–0,16–0,72)	2,29 (0,73–2,73)
Кожа	–	1,59 (0,15–4,99)	2,08 (0,32–5,72)	–	–	–	2,21 (0,37–5,91)	–
Предстательная железа	0,69 (–0,06–5,20)	0,24 (–0,04–1,13)	1,26 (0,10–2,61)	0,57 (–0,08–1,65)	0,85 (–0,03–2,05)	3,08 (1,03–4,93)	3,96 (2,18–6,61)	3,16 (1,60–5,60)
Лимфоидная, кроветворная и родственные им ткани	0,77 (–0,06–5,34)	0,73 (–0,07–1,45)	0,96 (0,00–1,75)	0,58 (–0,10–1,25)	0,86 (–0,06–1,62)	1,25 (0,11–2,12)	1,36 (0,16–2,25)	0,53 (–0,11–1,18)

Таблица 8. СОР смерти вследствие ЗНО женского персонала предприятия атомной индустрии в зависимости от СДВО (95%-й доверительный интервал)

Локализация ЗНО	СДВО, мЗв					
	0–20	> 20–50	> 50–100	> 100–150	> 150–200	> 200–300
Желудок и толстая кишка	0,6 (0,45–5,13)	1,07 (0,82–5,86)	0,48 (0,32–4,83)	1,78 (1,42–6,97)	0,56 (0,38–4,97)	1,07 (0,82–5,86)
Трахея, бронхи и легкое	1,93 (1,20–7,25)	0,49 (0,16–4,83)	0,80 (0,36–5,39)	1,75 (1,05–6,96)	–	–
Кожа	–	1,65 (0,55–6,80)	–	5,94 (3,59–13,06)	–	–
Молочная железа	1,66 (1,18–6,81)	0,66 (0,38–5,15)	0,36 (0,16–4,61)	1,58 (1,12–6,69)	1,27 (0,86–6,18)	–
Лимфоидная, кроветворная и родственные им ткани	0,18 (0,02–4,27)	0,83 (0,41–5,43)	0,69 (0,30–5,18)	2,97 (2,11–8,83)	–	–

ядерного наследия (формирование комплекса факторов риска, формулировка предложений по коррекции наиболее значимых из них, разработка стратегии медицинского обеспечения персонала, задействованного в работе по выводу из эксплуатации объектов ядерного наследия).

ВЫВОДЫ

В ходе исследования получены сведения о СОР смерти и динамике смертности персонала предприятия атомной отрасли вследствие наиболее распространенных ЗНО. Эти данные позволяют скорректировать медицинское сопровождение персонала предприятия атомной отрасли с целью продления трудового долголетия работников, а также снизить негативные радиационно обусловленные последствия на здоровье людей, задействованных в ликвидации объектов ядерного наследия. Результаты исследования будут основой для формирования информационных и инструктивно-методических документов, предназначенных для использования в практике научных и медицинских организаций, осуществляющих медицинское сопровождение работ на объектах атомной индустрии и мониторинг здоровья персонала данных предприятий и населения, проживающего в зоне их действия.

Литература

1. Ильин Л. А., редактор. Техногенное облучение и безопасность человека. М.: ИздАТ, 2006; 304 с.
2. Shilnikova NS, Preston DL, Ron E, Gilbert ES, Vassilenko EK, Romanov SA, et al. Cancer mortality risk among workers at the Mayak nuclear complex. Radiat Res. 2003; 159 (6): 787–98. DOI: 10.1667/0033-7587(2003)159[0787:cmrawa]2.0.co;2.
3. Zablotska LB, Ashmore JP, Howe GR. Analysis of mortality among Canadian nuclear power industry workers after chronic low-dose exposure to ionizing radiation. Radiat Res. 2004; 161 (6): 633–41. DOI: 10.1667/rr3170.
4. Gilbert ES, Koshurnikova NA, Sokolnikov ME, Shilnikova NS, Preston DL, Ron E, et al. Lung cancer in Mayak workers. Radiat Res. 2004; 162 (5): 505–16. DOI: 10.1667/rr3259.
5. Auvinen A, Pukkala E, Hyvönen H, Hakama M, Rytömaa T. Cancer incidence among Finnish nuclear reactor workers. J Occup Environ Med. 2002; 44 (7): 634–8. DOI: 10.1097/00043764-200207000-00008.
6. Cardis E, Vrijheid M, Blettner M, Gilbert E, Hakama M, Hill C, et al. Risk of cancer after low doses of ionising radiation: retrospective cohort study in 15 countries. BMJ. 2005; 331 (7508): 77. DOI: 10.1136/bmj.38499.599861.E0.
7. Jeong M, Jin YW, Yang KH, Ahn Y-O, Chaet C-Y. Radiation exposure and cancer incidence in a cohort of nuclear power industry workers in the Republic of Korea, 1992–2005. Radiat Environ Biophys. 2010; 49 (1): 47–55. DOI: 10.1007/s00411-009-0247-7.

References

1. Ilyin LA, redaktor. Texnogennoe obluchenie i bezopasnost' cheloveka. M.: IzdAT, 2006; 304 s. Russian.
2. Shilnikova NS, Preston DL, Ron E, Gilbert ES, Vassilenko EK, Romanov SA, et al. Cancer mortality risk among workers at the Mayak nuclear complex. Radiat Res. 2003; 159 (6): 787–98. DOI: 10.1667/0033-7587(2003)159[0787:cmrawa]2.0.co;2.
3. Zablotska LB, Ashmore JP, Howe GR. Analysis of mortality among Canadian nuclear power industry workers after chronic low-dose exposure to ionizing radiation. Radiat Res. 2004; 161 (6): 633–41. DOI: 10.1667/rr3170.
4. Gilbert ES, Koshurnikova NA, Sokolnikov ME, Shilnikova NS, Preston DL, Ron E, et al. Lung cancer in Mayak workers. Radiat Res. 2004; 162 (5): 505–16. DOI: 10.1667/rr3259.
5. Auvinen A, Pukkala E, Hyvönen H, Hakama M, Rytömaa T. Cancer incidence among Finnish nuclear reactor workers. J Occup Environ Med. 2002; 44 (7): 634–8. DOI: 10.1097/00043764-200207000-00008.
6. Cardis E, Vrijheid M, Blettner M, Gilbert E, Hakama M, Hill C, et al. Risk of cancer after low doses of ionising radiation: retrospective cohort study in 15 countries. BMJ. 2005; 331 (7508): 77. DOI: 10.1136/bmj.38499.599861.E0.
7. Jeong M, Jin YW, Yang KH, Ahn Y-O, Chaet C-Y. Radiation exposure and cancer incidence in a cohort of nuclear power industry workers in the Republic of Korea, 1992–2005. Radiat Environ Biophys. 2010; 49 (1): 47–55. DOI: 10.1007/s00411-009-0247-7.