

С.С. Силкин

ЗАБОЛЕВАЕМОСТЬ ЗЛОКАЧЕСТВЕННЫМИ НОВООБРАЗОВАНИЯМИ ЛЕГКОГО В УРАЛЬСКОЙ КОГОРТЕ АВАРИЙНО-ОБЛУЧЕННОГО НАСЕЛЕНИЯ

Уральский научно-практический центр радиационной медицины ФМБА России, Челябинск

Контактное лицо: Станислав Сергеевич Силкин, e-mail: ssilkin@urcrm.ru

РЕФЕРАТ

Актуальность: Злокачественные новообразования бронхов и легкого являются одной из самых распространенных локализаций в структуре заболеваемости как у населения России, так и в целом в мире. Основными причинами являются ухудшение экологической ситуации из-за активного роста количества «грязных» производств, а также курение табака и никотиносодержащих веществ (является причиной 80 % случаев заболевания злокачественными новообразованиями легкого).

В данной статье представлены результаты оценки уровня заболеваемости злокачественными новообразованиями легкого у населения, подвергшегося хроническому радиационному воздействию в результате деятельности Производственного объединения «Маяк» (сброс жидких радиоактивных отходов в реку Течу в начале 1950-х и взрыв в хранилище в сентябре 1957 г., в результате которого образовался Восточно-Уральский радиоактивный след).

Цель: Анализ показателей заболеваемости злокачественными новообразованиями бронхов и легкого у населения, включенного в Уральскую когорту аварийно-облученного населения за 65-летний период наблюдения (с 1956 по 2020 гг.).

Материал и методы: Исследование проведено когортным методом. Исследуемая когорта – Уральская когорта аварийно-облученного населения. Когорта включает в себя лиц, облученных в результате двух радиационных аварий на Южном Урале в середине 20-го века. Численность аналитической когорты составляла 47234 чел. За 65-летний период наблюдения в когорте на территории наблюдения было зарегистрировано 852 случая заболеваний злокачественными новообразованиями легкого, человеко-лет под риском – 1,3 млн.

Результаты: У членов Уральской когорты аварийно-облученного населения было выявлено повышение показателей заболеваемости злокачественными новообразованиями легкого в динамике, а также с увеличением достигнутого возраста и возраста начала облучения. Заболеваемость у мужчин в когорте достоверно была выше, чем у женщин. Отмечен значимо более высокий уровень заболеваемости злокачественными новообразованиями легкого у русской этнической группы относительно татарской и башкирской. Было доказано, что курение значительно увеличивает риск заболевания злокачественными новообразованиями легкого в когорте.

Заключение: Анализ заболеваемости злокачественными новообразованиями легкого проведен в данной когорте впервые. Полученные данные будут использованы в будущих исследованиях анализа радиогенного риска.

Ключевые слова: рак легкого, Уральская когорта аварийно-облученного населения, показатели заболеваемости

Для цитирования: Силкин С.С. Заболеваемость злокачественными новообразованиями легкого в Уральской когорте аварийно-облученного населения // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2025. Т. 70. № 2. С. 75–80. DOI:10.33266/1024-6177-2025-70-2-75-80

S.S. Silkin

Lung Cancer Incidence in the Southern Urals Population Exposed to Radiation Cohort

Ural Research Center for Radiation Medicine, Chelyabinsk, Russia

Contact person: Stanislav S. Silkin, e-mail: ssilkin@urcrm.ru

ABSTRACT

Relevance: Malignant neoplasms of the bronchi and lungs are among the most common localizations both among the population of Russia and in the world as a whole. The main reasons are the deterioration of the environmental situation due to the active growth of “dirty” industries, as well as smoking of tobacco and nicotine-containing substances (the cause of 80 % of lung cancer cases).

The article presents the results of evaluation of lung cancer incidence rate in the population exposed to chronic radiation exposure as a result of the activities of the Production Association «Mayak» (the discharge of liquid radioactive waste into the Techa River in the early 1950s and the explosion in the storage facility in September 1957, which resulted in the formation of the East Urals Radioactive Trace).

Purpose: Analysis the incidence rates of lung cancer in the population included in the Southern Urals Population Exposed to Radiation cohort over a 65-year follow-up period (between 1956 and 2020).

Material and methods: The study was conducted by cohort method. The cohort under study is the Southern Urals Population Exposed to Radiation. The cohort includes individuals exposed as a result of two radiation accidents in the Southern Urals in the mid-20th century. The size of the analytical cohort was 47,234 people. During the 65-year follow-up period, 852 cases of lung cancer were recorded in the cohort in the catchment area, with 1.3 million person-years at risk.

Results: Among members of the Southern Urals Population Exposed to Radiation cohort, an increase in lung cancer incidence rates was detected over time, as well as with increasing attained age and age at the onset of exposure. The incidence rate in men in the cohort was significantly higher than in women. A significantly higher incidence of lung cancer was noted in the Russian ethnic group relative to the Tatar and Bashkir ones. Smoking was shown to significantly increase the risk of lung cancer in the cohort.

Conclusion: Analysis of lung cancer incidence rates was carried out for the first time in this cohort. The findings will be used in future radiogenic risk analysis studies.

Keywords: Lung cancer, Southern Urals Population Exposed to Radiation Cohort, SUPER, incidence rates, exposed population, chronic exposure, the Tеча River, East Urals Radioactive Trace, EURT

For citation: Silkin SS. Lung Cancer Incidence in the Southern Urals Population Exposed to Radiation Cohort. Medical Radiology and Radiation Safety. 2025;70(2):75–80. (In Russian). DOI:10.33266/1024-6177-2025-70-2-75-80

Введение

Актуальность изучения влияния ионизирующего излучения на канцерогенез злокачественных новообразований (ЗНО) легкого определяется высокой распространенностью данной локализации [1, 2]. Заболеваемость ЗНО легкого по данным Международного агентства исследований рака (МАИР) занимает лидирующую позицию в мире (13 % от всех случаев заболеваний ЗНО). Кроме того, ЗНО легкого в лидерах в структуре смерти от ЗНО – 19,4 % случаев всех смертей от ЗНО [1–3, 6]. Каждый год в России регистрируется порядка 60 тыс. первичных случаев ЗНО легкого (80 % из них у мужчин, 20 % – у женщин). В нашей стране ЗНО легкого (9,9 %) занимают третье ранговое место по заболеваемости ЗНО после молочной железы (14,4 %) и ЗНО кожи (12,6 %) среди всего населения (оба пола) и первое место у мужчин (16,9 %). Женщины заболевают ЗНО легкого значительно реже (10 место в структуре заболеваемости, 4 %) [4–6].

Среди основных факторов риска развития ЗНО легкого принято выделять курение табака (является причиной 80 % случаев заболевания ЗНО легкого у мужчин), загрязнение окружающей среды полициклическими ароматическими углеводородами, афлотоксинами, нитрозаминами, соединениями мышьяка, кадмия, хрома, кобальта, никеля, оксидами железа, асбестом, ураном и радоном [7, 8].

Кроме того, как показано в многочисленных эпидемиологических исследованиях, ионизирующее излучение является канцерогеном наряду с вышеперечисленными факторами. Отмечается повышение уровней заболеваемости и смертности от ЗНО легкого у работников, задействованных на предприятиях атомной промышленности. Установлена достоверная зависимость частоты развития ЗНО легкого от полученной кумулятивной дозы α - и β -излучения [9]. Повышение заболеваемости и смертности от ЗНО легкого отмечается преимущественно на предприятиях, где существует контакт персонала с плутонием [10–12]. Значительное увеличение уровня заболеваемости ЗНО легкого также было зарегистрировано у населения Алтайского края, после начала испытаний на Семипалатинском полигоне [13]. В исследованиях риска заболеваемости ЗНО легкого у населения Японии, пережившего атомные бомбардировки 1945-го года, также была выявлена значимая связь с облучением [14, 15]. Некоторые авторы утверждают, что риск развития ЗНО легкого при воздействии малых доз ионизирующего излучения не меньше, чем при облучении высокими дозами [16].

Данная работа является продолжением цикла исследований, проводимых нами в Уральском научно-практическом центре радиационной медицины (УНПЦ РМ), посвященных изучению медицинских последствий длительного хронического облучения населения, проживавшего на загрязненных радионуклидами территориях Южного Урала. В предыдущих исследованиях была выявлена достоверная зависимость повышенного риска заболеваний [17] и смерти от солидных ЗНО [18] в Уральской когорте аварийно-облученного населения (УКАОН). В исследовании риска заболеваний солидными ЗНО в когорте реки Течи проводился анализ заболеваемости органоспецифическими раками, в том числе, ЗНО легкого, где оценивалось также влияние курения [19].

Целью данного исследования был анализ закономерности изменения показателей заболеваемости ЗНО легкого в УКАОН за период с 1956 по 2020 гг. в зависимости от пола, возраста, этнической принадлежности, календарного периода и курения.

Материал и методы

УКАОН была создана в УНПЦ РМ в 2018 г. и включает в себя лиц, облученных на Южном Урале на территории Челябинской и Курганской областей в период с начала 1950 по конец 1960 гг. в результате двух радиационных аварий (сбросы жидких радиоактивных отходов с «Маяка» в реку Теча в начале 1950-х и тепловой взрыв в хранилище радиоактивных отходов 29 сентября 1957 г., в результате которого образовался Восточно-Уральский радиоактивный след (ВУРС) [20].

Общая численность УКАОН составляет 62592 чел. Данные о заболеваемости ЗНО на постоянной основе собирались с начала 1956 г. на ограниченной территории (5 районов Челябинской области: Красноармейский, Кунашакский, Сосновский, Аргаяшский, Каслинский, г. Челябинск и г. Озерск), которая в итоге была определена как территория наблюдения за заболеваемостью (ТНЗ). Кроме того, из когорты УКАОН для анализа заболеваемости ЗНО бронхов и легкого были исключены лица, не проживавшие на территории наблюдения за заболеваемостью в период с 1956 по 2020 гг. Таким образом, численность аналитической УКАОН составила 47234 чел., далее в тексте речь будет вестись именно об этой численности когорты. Основные демографические характеристики когорты и распределение случаев ЗНО легкого в УКАОН представлены в табл. 1.

Таблица 1

Распределение членов когорты и случаев ЗНО легкого по полу, возрасту, этническим группам
Distribution of cohort members and lung cancer cases by gender, age, ethnic groups

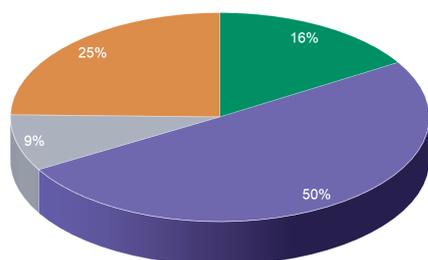
Параметры	Человек	%	ЗНО легкого на территории наблюдения за заболеваемостью (С34)	
			Количество больных ЗНО	%
Пол				
Мужчины	21168	45	719	84
Женщины	26066	55	133	16
Этнические группы				
Русские	30252	64	552	65
Татары и башкиры	16982	36	300	35
Возраст на 31.12.1960 г.				
до 20 лет	23219	49	0	0
20–39 лет	13559	29	12	1
40–59 лет	7103	15	296	35
60 лет и старше	3353	7	544	64
Всего	47234	100	852	100

В анализируемой когорте преобладают женщины – 55 %, лица русской этнической группы – 64 %. Татары и башкиры составляют 36 %. На 31.12.1960 г. в когорте преобладают лица молодого возраста (до 40 лет) – 78 %.

За весь период (с 1956 по 2020 гг.) на территории наблюдения за заболеваемостью было зарегистрировано 852 случая заболеваний ЗНО легкого. Случаев ожидаемо

значительно больше у мужчин (719 случаев, 84 %), чем у женщин (133 случая, 16 %), у лиц, принадлежащих к русской этнической группе (552 случая, 65 %), у татар и башкир – 300 случаев (35 %). По достигнутому возрасту случаев заболеваний ЗНО легкого существенно больше у возрастных членов когорты (60 лет и старше – 544 случая, 64 %).

Относительно жизненного статуса известно, что к концу периода наблюдения (31.12.2020 г.) из 47234 членов УКАОН 16 % живы и проживают на территории наблюдения за заболеваемостью, 50 % умерли. На 92 % умерших имеются акты о смерти с указанием причины. Потерянными на территории наблюдения являются 9 %. Лица, которые проживали или проживают за пределами территории наблюдения за заболеваемостью, по данным на конец периода наблюдения составляют 25 % (рис. 1).



- Живы, проживают на ТНЗ
- Умершие на ТНЗ
- Потерянные
- Проживали или проживают за пределами ТНЗ

Рис. 1 Жизненный статус членов УКАОН на конец 2020 г.
Fig.1 Vital status of cohort members at the end of 2020

Основным источником информации о случаях заболеваний ЗНО легкого служили извещения о впервые выявленных случаях ЗНО из Челябинского областного клинического центра онкологии и ядерной медицины (ЧОКЦОиЯМ), которые собирались в УНПЦ РМ, начиная с 1956 г., сначала в бумажном, а затем и в электронном виде. Дополнительно в регистр раковых заболеваний облученного населения собиралась информация из медицинской документации клинического отделения УНПЦ РМ, а также выписных эпикризов из других медицинских учреждений, амбулаторных карт, историй болезни, радиологических, цитологических журналов ЧОКЦОиЯМ. Кроме того, использовалась информация заключений ВТЭК, Межведомственного экспертного совета УНПЦ РМ. Данные о посмертных случаях ЗНО легкого также собирались из архивных записей ЗАГС (акты о смерти, свидетельства о смерти). Все диагнозы



Рис. 2 Верификация случаев заболеваний ЗНО легкого в УКАОН
Fig. 2 Verification of lung cancer cases in the cohort

у заболевших ЗНО легкого, включенные в базу данных, были закодированы в соответствии с Международной классификацией болезней 10 пересмотра.

На рис. 2 представлена доля подтверждения диагнозов ЗНО легкого различными методами за весь период наблюдения. Морфологическое подтверждение имеют 44 % (378 случаев заболевания), инструментальное – 27 % (227 случаев), клинически подтверждены 11 % (97 случаев), посмертные диагнозы – 18 % (150 случаев). Суммарная доля морфологически и инструментально подтвержденных диагнозов ЗНО легкого составляет 71 %, что является удовлетворительным показателем качества анализируемых данных за длительный период наблюдения.

Анализ показателей заболеваемости проводился с использованием статистического пакета EpiSure [21]. В программе Datab были рассчитаны человеко-годы и проведено распределение случаев ЗНО легкого по полу, этнической принадлежности, возрасту на начало облучения, достигнутому возрасту, курению. Для расчета стандартизованных коэффициентов использовался метод прямой стандартизации по возрасту. За стандарт принято возрастное распределение человеко-лет в аналитической когорте за весь период. Расчет коэффициентов заболеваемости осуществлен на 100 тыс. чел. по формуле:

$$КЗ = \frac{\text{случаи ЗНО легкого} \times 100\,000}{\text{Человеко-годы за период наблюдения}} \quad (1)$$

Доверительные интервалы (ДИ) для коэффициентов заболеваемости рассчитывались с 95 % достоверностью по Пуассоновскому распределению.

Результаты и обсуждение

За весь период наблюдения у мужчин было зарегистрировано 719 случаев заболеваний ЗНО легкого, у женщин – 133. Заболеваемость ЗНО легкого на 100 тыс. человеко-лет в когорте УКАОН в зависимости от пола и этнической принадлежности представлена в табл. 2. Стандартизованные коэффициенты заболеваемости ЗНО легкого у мужчин (154,4; 95 % ДИ: 143,1–166,3) достоверно в 9,6 раза выше, чем у женщин (15,6; 95 % ДИ: 13,0–18,5), что является характерным для показателей заболеваемости ЗНО легкого как по России [2], так и в целом по миру [1].

Таблица 2

Показатели заболеваемости ЗНО легкого у членов УКАОН по полу и этнической принадлежности
Lung cancer incidence rates among cohort members by gender and ethnicity

Показатели	Мужчины	Женщины	Русские	Татары и башкиры	Всего
Случаи ЗНО легкого	719	133	552	300	852
Человеко-годы	555598	751418	732983	574033	1307016
Стандартизованные коэффициенты заболеваемости ЗНО легкого	154,4	15,6	72,3	55,2	244,4
95 % ДИ	143,1-166,3	13,0-18,5	66,0-78,6	49,1-61,8	228,8-261,0

Показатели заболеваемости у русского населения 72,3 (95 % ДИ:66,0-78,6) достоверно превышают таковые у татар и башкир – 55,2 (95 % ДИ: 49,1–61,8), что подтверждается и различиями в величинах показателей заболеваемости ЗНО легкого в зависимости от курения в разных этнических группах (различия не достоверны) (табл. 3).

Таблица 3

Показатели заболеваемости ЗНО легкого в УКАОН в зависимости от курения

Lung cancer incidence rates in SUPER depending on smoking

Показатели	Курит	Бросил курить	Не курит	Нет информации о курении
Русские				
Стандартизованные коэффициенты заболеваемости ЗНО легкого	249,9	84,5	15,9	81,9
95 % ДИ	210,2–294,9	53,6–126,8	11,1–22,1	73,5–91,0
Татары, башкиры				
Стандартизованные коэффициенты заболеваемости ЗНО легкого	227,8	65,0	18,8	50,4
95 % ДИ	184,3–278,4	39,1–101,4	13,4–25,7	42,6–59,2

Отмечается значимое превышение коэффициентов заболеваемости ЗНО легкого в УКАОН у курящих. У русских курящих членов когорты показатели заболеваемости ЗНО легкого в 15,7 раза выше, чем у некурящих и в 3 раза выше, чем у лиц, бросивших курить. У курящих лиц татарской и башкирской этнической группы коэффициенты заболеваемости ЗНО легкого достоверно в 12,1 раза выше, чем у некурящих и в 3,5 раза выше, чем у лиц, бросивших курить. Информация о курении в когорте известна на 37 % членов когорты. Бросившими курить считались члены когорты, о которых известно, что они не курили в течение 5 и более лет до конца наблюдения или до диагноза ЗНО.

В табл. 4 представлены коэффициенты заболеваемости ЗНО легкого в когорте УКАОН в зависимости от возраста начала облучения и достигнутого возраста.

С увеличением достигнутого возраста, как и с увеличением возраста начала облучения во всей когорте наблюдается достоверное повышение показателей заболеваемости ЗНО легкого. Однако, если рассматривать группу достигших 60 и более лет, то наблюдается тенденция снижения показателя заболеваемости ЗНО легкого с увеличением возраста начала облучения.

На рис. 3 представлена динамика стандартизованных показателей заболеваемости ЗНО легкого у мужчин и женщин в когорте УКАОН.

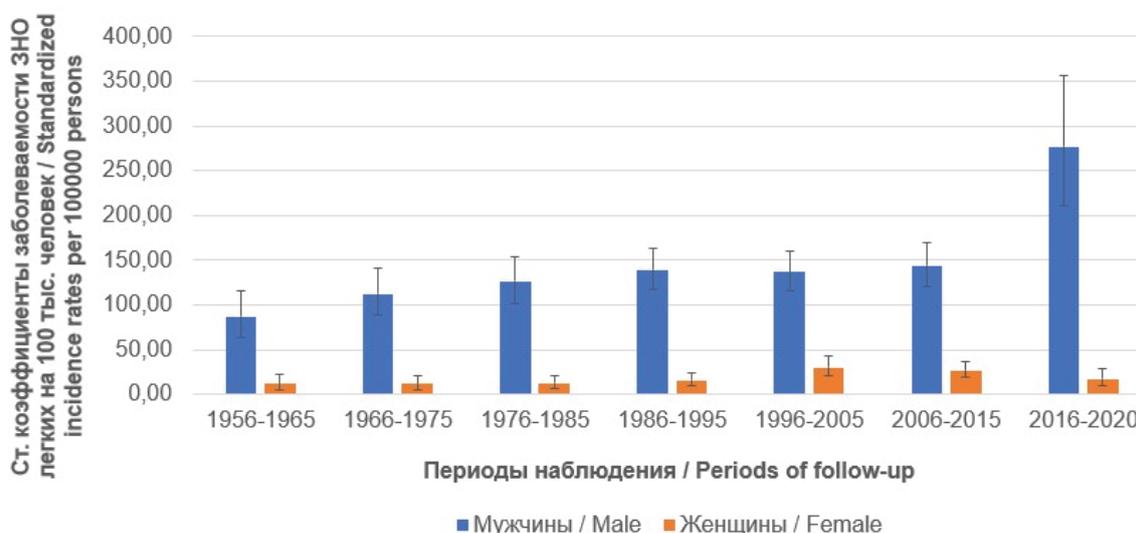


Рис. 3 Динамика стандартизованных показателей заболеваемости ЗНО легкого в УКАОН в зависимости от пола

Fig. 3 Dynamics of standardized incidence rates of lung cancer in the cohort depending on gender

Таблица 4

Показатели заболеваемости ЗНО легкого у членов УКАОН в зависимости от возраста начала облучения и достигнутого возраста

Lung cancer incidence rates among SUPER members depending on the age at exposure and attained age

Возраст начала облучения, лет	Достигнутый возраст, лет				
	20–39	40–59	60+	Всего	95 % ДИ
0-19	2,9	72,2	205,1	15,4	13,9–17,0
20-39	4,9	58,7	175,4	84,6	75,3–94,7
40-59		76,5	143,0	119,3	99,6–141,7
60+			102,8	102,8	65,9–153,2
Коэффициент заболеваемости	3,4	68,0	172,9	65,2	61,2–68,6
95 % ДИ	1,8–6,0	60,5–76,1	158,7–187,9	61,0–69,6	

Показатели заболеваемости ЗНО легкого у мужчин в УКАОН во все календарные периоды значительно превышают таковые у женщин, что не противоречит мировой [1] и российской статистике [2]. Как у мужчин, так и у женщин в УКАОН отмечается тенденция к увеличению со временем показателей заболеваемости ЗНО легкого. В последнем календарном периоде (2016–2020 гг.), через 60 лет после начала наблюдения у мужчин отмечено значимое увеличение показателей по сравнению с предыдущими годами. У женщин наибольший подъем заболеваемости отмечался через 40 лет (в 1996–2005 гг.) и оставался высоким через 50 лет (в 2006–2015 гг.). Столь высокие показатели последних лет могут быть связаны с ухудшением экологической обстановки и загрязнением атмосферы в последнее время, а также с увеличением числа курильщиков и увеличением продолжительности жизни населения.

В дальнейших исследованиях планируется более детальное изучение влияния фактора курения на показатели заболеваемости ЗНО легкого в когорте УКАОН, а также многофакторная оценка радиационного риска заболевания ЗНО легкого.

Заключение

В данном исследовании проведен анализ показателей заболеваемости ЗНО легкого у членов УКАОН, подвергшихся хроническому радиационному воздействию в результате двух радиационных аварий в середине 1950-х гг. на Производственном объединении «Маяк». Период наблюдения составил 65 лет (с 1956 по 2020

гг.). Численность исследуемой когорты составила 47234 чел., число случаев заболеваний ЗНО легкого – 852, количество человеко-лет под риском – 1,3 млн.

В результате проведенного анализа был показан рост заболеваемости ЗНО легкого в динамике, особенно у мужчин в последнем календарном периоде. С увеличением достигнутого возраста и возраста начала облучения отмечено достоверное повышение заболеваемости ЗНО легкого. Заболеваемость ЗНО легкого у мужчин в УКАОН достоверно в 9,6 раз выше, чем у женщин, что соответствует как мировым [1], так и российским тенденциям [2]. У русской этнической группы отмечены достоверно более высокие показатели заболеваемости ЗНО легкого, чем у тюркской, что подтверждено различиями в стандартизованных коэффициентах в зависимости от курения в различных этнических группах. Также было отмечено значимое превышение заболеваемости у курящих членов когорты (в 15,7 раза у курящих отно-

сительно некурящих, в 3 раза относительно бросивших курить у русской этнической группы и в 12,1 и 3,5 раза соответственно у тюркской этнической группы).

Оценка показателей заболеваемости ЗНО легкого в УКАОН выявила тенденции, характерные для населения России и в целом по миру. Выявленный рост заболеваемости ЗНО легкого в когорте связан с неуклонным ростом числа курильщиков табака и ухудшением экологической обстановки.

В будущем планируется оценка радиационного риска заболеваний ЗНО легкого в когорте УКАОН путем проведения многофакторного анализа.

Благодарность

Выражаем благодарность сотрудникам отдела Базы данных «Человек» под руководством Тряпицной С.В., а также сотрудникам эпидемиологической лаборатории УНПЦ РМ.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Cancer Incidence in Five Continents / Ed. by D. Forman, F. Bray, D.H. Brewster, C. Gombe Mbalawa, B. Kohler, M. Pineros, E. Steliarova-Foucher, R. Swaminathan, J. Ferlay. IARC Scientific Publications. No.164. Vol. X. Lyon: International Agency for Research on Cancer, 2014. 1436 p.
2. Cancer Incidence in Five Continents / Ed. Bray F., Colombet M., Mery L., Pieros M., Znaor A., Zanetti R., J. Ferlay. IARC Scientific Publications. No.164. Vol. XI. Lyon: International Agency for Research on Cancer, 2017. 1028 p.
3. Bray F., Laversanne M., Sung H., et al. Global Cancer Statistics 2022: Globocan Estimates of Incidence and Mortality Worldwide for 36 Cancers in 185 Countries // CA Cancer J Clin. 2024. V.74. No.3. P. 229-263. doi: 10.3322/caac.21834.
4. Каприн А.Д., Старинский В.В., Шахзадова А.О. Состояние онкологической помощи населению России в 2022 году. М.: МНИОИ им. П.А. Герцена, 2022. 239 с.
5. Мерабишвили В.М., Арсеньев А.И., Тарков С.А., Барчук А.А., Щербakov А.М., Демин Е.В., Мерабишвили Э.Н. Заболеваемость и смертность населения от рака легкого, достоверность учета // Сибирский онкологический журнал. 2018. Т.17. №6. С. 15–26. doi: 10.21294/1814-4861-2018-17-6-15-26.
6. Жуйкова Л.Д., Чойнзонов Е.Л., Ананина О.А., Ляхова Н.П., Пикалова Л.В. Заболеваемость раком легкого в различных городах мира (обзор) // Вопросы онкологии. 2020. Т.66. №3. С. 239-246. doi: 10.37469/0507-3758-2020-66-3-239-246.
7. Malhotra J., Malvezzi M., Negri E., La Vecchia C., Boffetta P. Risk Factors for Lung Cancer Worldwide // Eur Respir J. 2016. V.48. No.3. P.889–902. doi:10.1183/13993003.00359-2016.
8. Dela Cruz Ch.S., Tano L.T., Mattei R.A. Lung Cancer: Epidemiology, Etiology, and Prevention // Clin Chest Med. 2011. V.32. No.4. P. 10-1016. doi: 10.1016/j.ccm.2011.09.001.
9. Richardson D.B., Cardis E., Daniels R.D., Gillies M., Haylock R., Leuraud K., Laurier D., Moissonnier M., Schubauer-Berigan M.K., Thierry-Chef I., Kesminiene A. Site-Specific Solid Cancer Mortality after Exposure to Ionizing Radiation: a Cohort Study of Workers (INWORKS) // Epidemiology. 2018. V.29. No.1. P. 31-40. doi: 10.1097/EDE.0000000000000761.
10. Gilbert E.S., Sokolnikov M.E., Preston D.L., Schonfeld S.J., Schadilov A.E., Vasilenko E.K., Koshurnikova N.A. Lung Cancer Risks from Plutonium: an Updated Analysis of Data from the Mayak Worker Cohort // Radiat. Res. 2013. V.179. No.3. P. 332-42. doi: 10.1667/RR3054.1.
11. 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. V.195. No.4. P. 334-346. doi: 10.1667/RADE-20-00094.1.
12. Labutina E.V., Kuznetsova I.S., Hunter N., Harrison J., Koshurnikova N.A. Radiation Risk of Malignant Neoplasms in Organs of Main Deposition for Plutonium in the Cohort of Mayak Workers with Regard to Histological Types // Health Phys. 2013. V.105. No.2. P. 165-176. doi: 10.1097/HP.0b013e31828f57df.
13. Шойхет Я.Н., Колядо И.Б., Колядо В.Б., Богданов С.В., Трунова Л.Н. Заболеваемость населения территорий, прилегающих к районам падения отделяющихся частей ракет-носителей // Проблемы клинической медицины. 2005. №4. С. 102–8.
14. Cahoon E.K., Preston D.L., Pierce D.A., Grant E., Brenner A.V., Mabuchi K., Utada M., Ozasa K. Lung, Laryngeal and Other Respiratory Cancer Incidence among Japanese Atomic Bomb Survivors: an Updated Analysis from 1958 through 2009 // Radiat. Res. 2017. V.187. No.5. P. 538-548. doi: 10.1667/RR14583.1.
15. Egawa H., Furukawa K., Preston D., Funamoto S., Yonehara S., Matsuo T., Tokuoka S., Suyama A., Ozasa K., Kodama K., Mabuchi K. Radiation and Smoking Effects on Lung Cancer Incidence by Histological Types among Atomic Bomb Survivors // Radiat. Res. 2012. V.178. No.3. P. 191-201. doi: 10.1667/rr2819.1.
16. Hazelton W.D., Moolgavkar S.H., Curtis S.B., Zielinski J.M., Ashmore J.P., Krewski D. Biologically Based Analysis of Lung Cancer Incidence in a Large Canadian Occupational Cohort with Low-Dose Ionizing Radiation Exposure, and Comparison with Japanese Atomic Bomb Survivors // Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A. 2006. V.69. No.11. P.1013-1038. doi: 10.1080/00397910500360202.
17. Крестинина Л.Ю., Силкин С.С., Микрюкова Л.Д., Епифанова С.Б., Аклеев А.В. Риск заболеваемости солидными злокачественными новообразованиями в Уральской когорте аварийно-облученного населения: 1956–2017 // Радиационная гигиена. 2020. Т.13. №3. С. 6-17. doi: 10.21514/1998-426X-2020-13-3-6-17.
18. Крестинина Л.Ю., Силкин С.С. Риск смерти от солидных злокачественных новообразований в Уральской когорте аварийно-облученного населения: 1950-2019 // Радиационная гигиена. 2023. Т.16. №1. С. 19-31. doi: 10.21514/1998-426X-2023-16-1-19-31.
19. Davis F.G., Krestinina L.Yu., Preston D., Epifanova S.B., Degteva M.O., Akleyev A.V. Solid Cancer Incidence in the Techa River Incidence Cohort: 1956–2007 // Radiat. Res. 2015. V.184. P.56-65. doi: 10.1667/RR14023.1.
20. Силкин С.С., Крестинина Л.Ю., Старцев В.Н., Аклеев А.В. Уральская когорта аварийно-облученного населения // Медицина экстремальных ситуаций. 2019. Т.21. №3. С. 393-402.
21. Preston D.L., Lubin J.H., Pierce D.A., McConney M.E. Epicure Users Guide. Seattle, Washington: URL: <https://hirosoft.com/wp-content/uploads/nethelp/NetHelp/> (date of access: 05.06.2024).

REFERENCES

1. Cancer Incidence in Five Continents. Ed. by D. Forman, F. Bray, D.H. Brewster, C. Gombe Mbalawa, B. Kohler, M. Pineros, E. Steliarova-Foucher, R. Swaminathan and J. Ferlay. IARC Scientific Publications. No.164. Vol. X. Lyon, International Agency for Research on Cancer, 2014. 1436 p.
2. Cancer Incidence in Five Continents. Ed. Bray F., Colombet M., Mery L., Pieros M., Znaor A., Zanetti R., J. Ferlay. IARC Scientific Publications. No.164. Vol. XI. Lyon, International Agency for Research on Cancer, 2017. 1028 p.
3. Bray F., Laversanne M., Sung H., et al. Global Cancer Statistics 2022: Globocan Estimates of Incidence and Mortality Worldwide for 36 Cancers in 185 Countries. *CA Cancer J Clin.* 2024;74;3:229-263. doi: 10.3322/caac.21834
4. Kaprin A.D., Starinskiy V.V., Shakhzadova A.O. *Sostoyaniye Onkologicheskoy Pomoshchi Naseleniyu Rossii v 2022 Godu* = The State of Oncological Care for the Population of Russia in 2022. Moscow, Moskovskiy Nauchno-Issledovatel'skiy Onkologicheskii Institut im. P.A.Gertsena Publ., 2022. 239 p. (In Russ.).
5. Merabishvili V.M., Arsen'yev A.I., Tarkov S.A., Barchuk A.A., Shcherbakov A.M., Demin Ye.V., Merabishvili E.N. Incidence and Mortality of the Population from Lung Cancer, Reliability of Accounting. *Sibirskiy Onkologicheskii Zhurnal* = Siberian Journal of Oncology. 2018;17;6:15-26 (In Russ.). doi: 10.21294/1814-4861-2018-17-6-15-26.
6. Zhuykova L.D., Choynzonov Ye.L., Ananina O.A., Lyakhova N.P., Pikalova L.V. Lung Cancer Incidence in Different Cities of the World (Review). *Voprosy Onkologii* = Issues of Oncology. 2020;66;3:239-246 (In Russ.). doi: 10.37469/0507-3758-2020-66-3-239-246.
7. Malhotra J., Malvezzi M., Negri E., La Vecchia C., Boffetta P. Risk Factors for Lung Cancer Worldwide. *Eur Respir J.* 2016;48;3:889–902. doi:10.1183/13993003.00359-2016.
8. Dela Cruz Ch.S., Tano L.T., Mattei R.A. Lung Cancer: Epidemiology, Etiology, and Prevention. *Clin Chest Med.* 2011;32;4:10-1016. doi: 10.1016/j.ccm.2011.09.001.
9. Richardson D.B., Cardis E., Daniels R.D., Gillies M., Haylock R., Leuraud K., Laurier D., Moissonnier M., Schubauer-Berigan M.K., Thierry-Chef I., Kesminiene A. Site-Specific Solid Cancer Mortality after Exposure to Ionizing Radiation: a Cohort Study of Workers (INWORKS). *Epidemiology.* 2018;29;1:31-40. doi: 10.1097/EDE.0000000000000761.
10. Gilbert E.S., Sokolnikov M.E., Preston D.L., Schonfeld S.J., Schadilov A.E., Vasilenko E.K., Koshurnikova N.A. Lung Cancer Risks from Plutonium: an Updated Analysis of Data from the Mayak Worker Cohort. *Radiat. Res.* 2013;179;3:332-42. doi: 10.1667/RR3054.1.
11. 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.
12. Labutina E.V., Kuznetsova I.S., Hunter N., Harrison J., Koshurnikova N.A. Radiation Risk of Malignant Neoplasms in Organs of Main Deposition for Plutonium in the Cohort of Mayak Workers with Regard to Histological Types. *Health Phys.* 2013;105;2:165-176. doi: 10.1097/HP.0b013e31828f57df.
13. Shoykhet Ya.N., Kolyado I.B., Kolyado V.B., Bogdanov S.V., Trunova L.N. Morbidity of the Population of Territories Adjacent to the Areas of Fall of Separating Parts of Launch Vehicles. *Problemy Klinicheskoy Meditsiny* = Problems of Clinical Medicine. 2005;4:102-8 (In Russ.).
14. Cahoon E.K., Preston D.L., Pierce D.A., Grant E., Brenner A.V., Mabuchi K., Utada M., Ozasa K. Lung, Laryngeal and Other Respiratory Cancer Incidence among Japanese Atomic Bomb Survivors: an Updated Analysis from 1958 through 2009. *Radiat. Res.* 2017;187;5:538-548. doi: 10.1667/RR14583.1.
15. Egawa H., Furukawa K., Preston D., Funamoto S., Yonehara S., Matsuo T., Tokuoka S., Suyama A., Ozasa K., Kodama K., Mabuchi K. Radiation and Smoking Effects on Lung Cancer Incidence by Histological Types among Atomic Bomb Survivors. *Radiat. Res.* 2012;178;3:191-201. doi: 10.1667/rr2819.1.
16. Hazelton W.D., Moolgavkar S.H., Curtis S.B., Zielinski J.M., Ashmore J.P., Krewski D. Biologically Based Analysis of Lung Cancer Incidence in a Large Canadian Occupational Cohort with Low-Dose Ionizing Radiation Exposure, and Comparison with Japanese Atomic Bomb Survivors. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A.* 2006;69;11:1013-1038. doi: 10.1080/00397910500360202.
17. Krestinina L.Yu., Silkin S.S., Mikryukova L.D., Yepifanova S.B., Akleyev A.V. Risk of Solid Malignant Neoplasms in the Ural Cohort of the Accident-Exposed Population: 1956–2017. *Radiatsionnaya Gigiyena* = Radiation Hygiene. 2020;13;3:6-17 (In Russ.). doi: 10.21514/1998-426X-2020-13-3-6-17.
18. Krestinina L.Yu., Silkin S.S. Risk of Death from Solid Malignant Neoplasms in the Ural Cohort of the Accident-Irradiated Population: 1950-2019. *Radiatsionnaya Gigiyena* = Radiation Hygiene. 2023;16;1:19-31 (In Russ.). doi: 10.21514/1998-426X-2023-16-1-19-31.
19. Davis F.G., Krestinina L.Yu., Preston D., Epifanova S.B., Degteva M.O., Akleyev A.V. Solid Cancer Incidence in the Techa River Incidence Cohort: 1956–2007. *Radiat. Res.* 2015;184:56-65. doi: 10.1667/RR14023.1.
20. Silkin S.S., Krestinina L.Yu., Startsev V.N., Akleyev A.V. Ural Cohort of Emergency-Exposed Population. *Meditsina Ekstremal'nykh Situatsiy* = Medicine of Extreme Situations. 2019;21;3:393-402.
21. Preston D.L., Lubin J.H., Pierce D.A., McConney M.E. *Epicure Users Guide*. Seattle, Washington. URL: <https://hirosoft.com/wp-content/uploads/nethelp/NetHelp/> (date of access: 05.06.2024).

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Работа выполнена при финансовой поддержке Федерального медико-биологического агентства России в рамках реализации государственного заказа по теме «Риски развития органоспецифических новообразований при хроническом облучении в Уральской когорте аварийно-облученного населения».

Участие авторов. С.С. Силкин – обзор литературных источников, анализ показателей заболеваемости, написание текста рукописи.

Поступила: 20.12.2024. Принята к публикации: 25.01.2025.

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

Financing. The work was carried out with the financial support of the Federal Medical and Biological Agency of Russia as part of the implementation of a state order on the topic “Risks of developing organ-specific neoplasms during chronic exposure in the Ural cohort of the emergency-exposed population”.

Contribution. S.S. Silkin – review of literary sources, analysis of morbidity rates, writing the text of the manuscript.

Article received: 20.12.2024. Accepted for publication: 25.01.2025.