

3. The Order No 207-p of the Minister of Environmental Protection «On the Approval of the Rules for the Conduct of State Environmental Expertise». Astana; 2007. (in Russian)
4. The Order No 213-o of the Minister of Environmental Protection and the Order No 243 of the Acting Minister of Economic Development and Trade of the Republic of Kazakhstan «On the Approval of the Evaluation Criteria of Risk Degree in Business in the area of Environmental Protection, Reproduction and Use of Natural Resources». Astana; 2011. (in Russian)
5. Bekshin Zh.M., Turmukhambetova A.A., Uzbekov V.A., Belonog A.A., Mamyrbaev A.A., Perepichko N.Z. Soil as a source of environmental risk. Problems of regulation and monitoring the level of soil contamination by chemicals. *Meditsina i ekologiya*. 2015; (3): 42-7. (in Russian)
6. Izmerov N.F., Denisov E.I. *Occupational Risk to the Health of Workers (Guidance) [Professional'nyy risk dlya zdorov'ya rabotnikov (rukovodstvo)]*. Moscow; 2003. (in Russian)
7. Guidance on risk assessment at work (Directive 89/391/EEC). Luxembourg; 1996.
8. Shigan E.N. *Modelling and Prediction Methods in Socio-sanitary Research [Metody prognozirovaniya i modelirovaniya v sotsial'no-gigienicheskikh issledovaniyakh]*. Moscow; 1986. (in Russian)
9. Kobzar' A.I. *Applied Mathematical Statistics [Prikladnaya matematicheskaya statistika]*. Moscow: Fizmatlit; 2006. (in Russian)
10. Sulitskiy V.N. *Methods of Statistical Analysis in Management [Metody statisticheskogo analiza v upravlenii]*. Moscow: Delo; 2002. (in Russian)
11. The Labour Code of the Republic of Kazakhstan № 414-V ZRK. Astana; 2015. (in Russian)
12. Ibraev S.A., Pankin Yu.N., Otarov E.Zh., Izdenov A.K., Alekseev A.V., Koygel'dinova Sh.S., et al. Relationship between Morbidity and Occupational Risk of the Workers of the Industrial Enterprises. In: *Proceedings of the Plenum of the Scientific Council of the Russian Federation «The Methodological Problems of Study, Assessment and Regulation of Chemical Pollution of Environment and its Influence to Health of the Population» [Materialy plenuma Nauchnogo soveta RF «Metodologicheskie problemy izucheniya, otsenki i reglamentirovaniya khimicheskogo zagryazneniya okruzhayushchey sredy i ego vliyanie na zdorov'e naseleniya»]*. Moscow; 2015. (in Russian)
13. Onishchenko G.G. Topical problems of methodology for assessing a risk and its role in the improvement of a sociohygienic monitoring system. *Gigiena i sanitariya*. 2005; 84(2): 3-6. (in Russian)

Поступила 18.02.17
Принята к печати 05.07.17

© КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ, 2018

УДК 613.6

Тельнов В.И., Третьяков Ф.Д., Окатенко П.В.

СОКРАЩЕНИЕ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ЖИЗНИ У РАБОТНИКОВ ПРИ РАЗНЫХ ГИСТОЛОГИЧЕСКИХ ТИПАХ РАКА ЛЕГКОГО И ПОГЛОЩЕННЫХ ДОЗАХ НА ЛЕГКИЕ ОТ ПЛУТОНИЯ-239

ФГУП Южно-Уральский институт биофизики ФМБА России, 456780, Озёрск, Челябинская область, Россия

Проведена оценка влияния инкорпорации плутония-239 на продолжительность жизни у работников ПО «Маяк» на основе анализа смертности и возраста смерти при разных гистологических типах рака легкого, являющегося одним из основных органов депонирования радионуклида. В анализ включён 2321 мужчина (1709 умерших и 612 живых) – работники ПО «Маяк» 1948 – 1958 гг. найма. В зависимости от инкорпорации плутония-239 у работников, умерших от рака лёгкого, при разных гистологических типах оценивали показатели сокращения продолжительности жизни (доля не доживших до 65 лет и потерянные годы потенциальной жизни). В результате проведенного исследования установлено, что у работников ПО «Маяк», умерших от рака лёгкого, при поглощенной дозе на лёгкие от плутония-239 более 1 сГр наблюдалось сокращение продолжительности жизни, повышение числа работников, не доживших до 65 лет и повышение потерянных годов потенциальной жизни при всех изученных гистологических типах рака лёгкого, таких как аденокарцинома, плоскоклеточный рак и другие эпителиальные опухоли. Однако данные эффекты при аденокарциноме были, как свидетельствуют относительные риски наблюдаемых изменений, в 3 раза более выраженными, чем при остальных гистологических типах рака лёгкого. Столь выраженное сокращение продолжительности жизни при аденокарциноме было обусловлено как более высокой смертностью, так и более выраженной преждевременной смертностью, то есть снижением возраста смерти. При плоскоклеточном раке сокращение продолжительности жизни было менее выраженным, главным образом за счет повышения смертности и не достоверной тенденции к преждевременной смертности. При других эпителиальных раках сокращение продолжительности жизни было примерно таким же, как и при плоскоклеточном раке, однако в отличие от последнего лишь за счет повышения смертности. Полученные результаты являются основанием, во-первых, для сравнительной количественной оценки вклада повышенной и преждевременной смертности в сокращение продолжительности жизни при разных гистотипах рака легкого у работников ПО «Маяк» и, во-вторых, для оценки ущерба здоровью на основе потерянных человеко-лет жизни.

Ключевые слова: работники ПО «Маяк»; плутоний-239; поглощенная доза; рак лёгкого; гистологические типы; продолжительность жизни.

Для цитирования: Тельнов В.И., Третьяков Ф.Д., Окатенко П.В. Сокращение продолжительности жизни у работников при разных гистологических типах рака легкого и поглощенных дозах на легкие от плутония-239. *Гигиена и санитария*. 2018; 97(2): DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2018-97-2>

Для корреспонденции: Тельнов Виталий Иванович, канд. мед. наук, зам. директора по научной работе. E-mail: tvi@subi.su

Telnov V.I., Tretyakov F.D., Okatenko P.V.

THE SHORTEN LIFE EXPECTANCY IN WORKERS IN RELATION TO DIFFERENT HISTOLOGICAL TYPES OF LUNG CANCER AND ABSORBED DOSE TO LUNGS FROM PLUTONIUM-239

Southern Urals Biophysics Institute, Ozyorsk, 456780, Russian Federation

The assessment of the effect of incorporated Plutonium-239 on the life expectancy in Mayak PA employees was executed on the basis of the analysis of the mortality rate and the age of death in relation to different histological types of lung cancer as lungs is one of the main organs of deposition of the nuclide. 2321 male workers of Mayak PA employed in 1948-1958 (1709 deceased and 612 alive) were included in the analysis. For different histological types,

the values of the decline of life expectancy (proportion of workers that failed to attain the age of 65 years and potential years of life lost) in Mayak PA workers that had died from lung cancer were assessed in relation to incorporated Plutonium-239. As a result of the study of the reduction in the life expectancy, the increase in the number of workers that failed to attain the age of 65 years and the gain in potential years of life lost in Mayak PA workers that had died from lung cancer with absorbed dose to lungs from Plutonium-239 exceeding 1cGy was observed in relation to all the known histological types of lung cancer such as adenocarcinoma, squamous cell carcinoma and other epithelial neoplasms. However, according to the relative risk for changes observed, these effects were three times more clearly marked in the case of adenocarcinoma in comparison to other histological types of lung cancer. Such significant decline in the life expectancy in the case of adenocarcinoma was detected by both the increased mortality rate and a larger amount of untimely deaths i.e. the decreased age of the death. The comprising of life expectancy in the case of squamous cell carcinoma was less significant and was mostly detected relying upon the increased mortality rate and non-reliable trend for untimely deaths. In relation to other types of epithelial cancer, the decline in life expectancy was approximately the same as in the case of squamous cell carcinoma, though in contrast to the latter it was determined due to the increased mortality rate only. The results obtained lay the foundation for the basis for, in the first place, the comparative quantitative assessment of the contribution of increased mortality and untimely death rate to the decline in life expectancy in relation to different histological lung cancer types among Mayak PA workers, and, in the second place, for evaluation of health damage based on person-years of life lost.

Key words: Mayak PA workers; plutonium-239; absorbed dose; lung cancer; histological types; lifetime.

For citation: Telnov V.I., Tretyakov F.D., Okatenko P.V. The shorten life expectancy in workers in relation to different histological types of lung cancer and absorbed dose to lungs from Plutonium-239. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)* 2018; 97(2): . (In Russ.). DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2018-97-2->

For correspondence: Vitaly I. Telnov, MD, Ph.D., Deputy Director of the Southern Urals Biophysics Institute, Ozyorsk, 456780, Russian Federation. E-mail: vti@subi.su

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

Acknowledgment. The work is performed with the financial support from FMBA of Russia in the framework of the State Program of the Russian Federation "Public Health Service Development". State Contract № 11.305.16.0 «Assessment of radiogenic risks of late effects of ionizing radiation and prevention of the effects for «Mayak PA» workers and their 1st generation offspring

Received: 05 February 2017

Accepted: 05 July 2017

Введение

Как известно, рак лёгкого относится к числу наиболее распространенных опухолевых заболеваний и является одной из основных причин смерти, особенно у мужчин. Помимо курения немаловажную роль в возникновении рака лёгкого играют профессиональные факторы, в том числе физической природы. К числу последних прежде всего относятся радон и плутоний, риск рака лёгкого при профессиональном контакте с которыми повышается в несколько раз [1, 2]. Однако для анализа последствий лучевого канцерогенеза на современном уровне недостаточно только оценок канцерогенного риска. Не менее важной задачей является и оценка сокращения продолжительности жизни (ПЖ) как интегрального показателя состояния здоровья у облученных людей [3]. В последнее время в результате проведённых исследований было установлено достоверное влияние внешнего облучения на сокращение ПЖ у японцев, подвергшихся атомной бомбардировке [4]. Также было показано сокращение ПЖ у работников ПО «Маяк», подвергшихся инкорпорации плутония-239 [5]. Следует отметить, что в отличие от традиционных показателей риска, отражающих только повышение заболеваемости или смертности, сокращение продолжительности жизни отражает как повышенную, так и преждевременную, то есть в более раннем возрасте, смертность [6].

Учитывая опубликованные ранее данные об увеличении риска развития аденокарциномы лёгкого при инкорпорации плутония-239 у работников ПО «Маяк», полученные в разные сроки наблюдения при различных эпидемиологических подходах [7 – 9], представлялось целесообразным изучить вопрос о ПЖ при отдельных гистологических типах (далее гистотипах) рака лёгкого у данного контингента работников.

Материал и методы

Материалом для исследования явилась когорта работников 1948–1958 гг. найма (1901–1940 гг. рождения) с известным содержанием плутония-239 в организме, входящая в состав Медико-дозиметрического Регистра персонала ПО «Маяк», прослеженная до 2009 года включительно [10]. Св-

дения о дозах внешнего гамма-облучения были получены в отделе радиационной и общей безопасности ПО «Маяк» по данным индивидуального фотоконтроля [11]. Данные о накопленных поглощённых дозах на лёгкие от плутония-239 были получены в дозиметрическом отделе ЮУрИБФ на основе дозиметрической системы «Дозы 2008», разработанной в рамках российско-американского сотрудничества [12]. Распределение накопленных доз внешнего гамма-облучения и поглощённых доз на лёгкие от плутония-239 во всех случаях было асимметричным, скошенным вправо, особенно в последнем случае (коэффициенты асимметрии от 0,90 до 1,40 при внешнем облучении и от 5,75 до 9,84 при внутреннем облучении). В связи с этим для их характеристики в табл. 1 представлены непараметрические показатели, такие как медиана, 1-й и 3-й квартили, соответствующие 25 и 75 процентилям. Как видно из этой таблицы, расстояние 3-го квартиля от медианы было во всех случаях больше, чем 1-го квартиля, что является отражением асимметричности распределений [13].

Сведения о причинах смерти и демографические характеристики умерших лиц были получены из Регистра причин смерти населения г. Озёрска [14], а также из медицинской и архивной документации. В исследование было взято максимально возможное число работников, имеющих данные об инкорпорации плутония-239 ($n = 2321$). Из 205 случаев

Таблица 1

Дозиметрическая характеристика когорты работников ПО «Маяк» 1948 – 1958 гг. найма

Группы	n	Накопленные дозы внешнего гамма-облучения, сГр			Дозы на лёгкие от плутония-239, сГр		
		Me*	процентиля		Me	процентиля	
			25-й	75-й		25-й	75-й
Живые	630	55,2	29,6	129,3	0,11	0,04	0,28
Умершие	1691	109,4	38,0	194,8	0,15	0,05	0,47
Все	2321	88,9	35,0	180,9	0,14	0,05	0,40

Таблица 2

Гистологические типы и морфологические коды рака легкого по ICD-O

Гистологический тип	Морфологический код по ICD-O	n
Аденокарцинома	8140; 8210-8260; 8310; 8430-8490	65
Плоскоклеточный рак	8070-8072	41
Другие эпителиальные раки	8010-8045; 8120; 8550; 8560	41
Прочие раки	8001; 8830	4
Все	151	

смерти от рака лёгкого в 73,7% случаях было выполнено гистологическое исследование. Отсутствие гистологических данных в 26,3% случаев не позволило оценить абсолютную распространенность гистотипов рака лёгкого в обследуемой когорте, а только относительную. Последняя и была использована для сравнительного анализа в выделенных дозовых группах.

В соответствии с категориями гистотипов солидных раков в японской когорте LSS по морфологическим кодам ICD-O выделяли следующие гистотипы рака лёгкого [15] (табл. 2). В связи с небольшой численностью (4 случая) в анализ не были включены прочие раки. Распространенность гистотипов рака лёгкого оценивали как число случаев на 10³ человек (%_{оо}). Канцерогенный риск и риск сокращения ПЖ оценивали как относительный риск (ОР) на основе расчёта отношения шансов – odds ratio – с помощью 4-полных таблиц, а его достоверность – с помощью 95%-го доверительного интервала (ДИ) [16].

Демографический анализ включал изучение среднего возраста смерти (то есть ПЖ) от рака лёгкого в выделенной когорте работников ПО «Маяк» по МКБ-9. Для оценки сокращения ПЖ определяли долю лиц, не доживших до 65

лет, а также число потерянных годов потенциальной жизни (ППЖ) на основе европейского гендерного стандарта ОПЖ (ОПЖст при рождении, а именно: 77 лет для мужчин).

При оценке ППЖ в сравниваемых группах рассчитывали:

Количество ППЖ у мужчин, умерших от рака лёгкого, по формуле:

$$ППЖ = \sum(ОПЖст - ВС),$$

где ВС – возраст смерти по данной причине.

ППЖ в выделенных группах на 10⁵ человеко-лет наблюдения (ЧЧЛ):

$$ППЖ \times 10^5 \text{ ЧЧЛ, лет} = ППЖ/ЧЧЛ \times 100000,$$

где ЧЧЛ – число человеко-лет наблюдения.

Различия в распространенности гистотипов, в долях умерших до 65 лет и долях ППЖ при разных поглощенных дозах на лёгкие от плутония-239 и различных гистотипах рака лёгкого в сравниваемых группах оценивали с помощью метода «фи» [17]. Остальные статистические показатели определяли с помощью программы Statistica [18].

Результаты и обсуждение

В результате проведенного исследования установлено, что во всей когорте работников распространенность различных гистотипов рака лёгкого (аденокарциномы – АДК, плоскоклеточного рака – ПКР и других эпителиальных раков – ДЭР) была выше при накопленной поглощенной дозе на лёгкие от плутония более 1 сГр в 2,5 – 3,5 раза при ПКР и ДЭР и более, чем в 7 раз при АДК (табл. 3). Также у работников, умерших от АДК лёгкого, наблюдалось достоверное снижение возраста смерти (то есть сокращение ПЖ) при большей накопленной поглощенной дозе от плутония на лёгкие. Распределение гистотипов рака лёгкого в сравниваемых дозовых группах существенно различалось (X² = 7,06; p <

Таблица 3

Возраст смерти, распространенность и распределение гистологических типов у работников, умерших от рака лёгкого, при разных поглощенных дозах на лёгкие от плутония-239

Показатель	Доза на легкие < 1,0 сГр			Доза на легкие > 1,0 сГр		
	АДК, n = 33	ПКР, n = 31	ДЭР, n = 29	АДК, n = 31	ПКР, n = 10	ДЭР, n = 13
Возраст смерти, годы	63,9 ± 1,38	65,0 ± 1,40	62,6 ± 1,74	58,1 ± 1,56*	61,3 ± 2,38	63,0 ± 3,17
Распространённость гистотипов, %	16,1	15,1	14,1	115,2*	37,2*	48,3*
Распределение гистотипов	35,5%	33,3%	31,2%	57,4%*	18,5%*	24,1%
Численность дозовых групп	2051			270		

Примечание. * – p < 0,05 относительно соответствующей гистологической группы при поглощённой дозе на лёгкие менее 1,0 сГр.

Таблица 4

Относительный риск развития отдельных гистотипов рака лёгкого у работников при поглощённых дозах на лёгкие от плутония-239 более 1 сГр

Гистотипы	Поглощённая доза на лёгкие, сГр	Рак лёгкого	Человеко-лет наблюдения	Относительный риск (95% ДИ)
Все гистотипы	< 1,0 сГр	93	142 545	1,00 (референтный)
	> 1,0 сГр	54	17 496	4,73 (3,39 – 6,61)
Аденокарцинома	< 1,0 сГр	33	142 545	1,00 (референтный)
	> 1,0 сГр	31	17 496	7,65 (4,70 – 12,45)
Плоскоклеточный рак	< 1,0 сГр	31	142 545	1,00 (референтный)
	> 1,0 сГр	10	17 496	2,63 (1,31 – 5,29)
Другие эпителиальные опухоли	< 1,0 сГр	29	142 545	1,00 (референтный)
	> 1,0 сГр	13	17 496	3,65 (1,92 – 6,95)

Таблица 5

Относительный риск сокращения продолжительности жизни у работников, умерших от рака легкого, при поглощённых дозах на лёгкие от плутония-239 более 1 сГр

Поглощённая доза на лёгкие, сГр	Рак лёгкого	Человеко-лет наблюдения	Относительный риск (95% ДИ)
<i>Умерли от рака лёгкого до 65 лет</i>			
< 1,0 сГр	55	142545	1,00 (референтный)
>1,0 сГр	43	17496	6,37 (4,28 – 9,48)
<i>ПГПЖ</i>			
< 1,0 сГр	1552	142545	1,00 (референтный)
>1,0 сГр	942	17496	4,95 (4,56 – 5,38)

0,05). В основе наблюдаемых различий (см. табл. 3) лежало повышение доли АДК (в 1,6 раза) и понижение доли ПКР (в 2 раза). Существенных межгрупповых различий в долях ДЭР не наблюдалось.

При оценке риска развития отдельных гистотипов рака лёгкого установлено, что при поглощённой дозе на лёгкие от плутония более 1 сГр ОР при всех изученных гистотипах был достоверно повышен и составлял 4,73. При этом ОР развития АДК, равный 7,65, был в 2-3 раза выше, чем для ДЭР и ПКР соответственно (табл. 4).

При анализе показателей сокращения ПЖ у работников, умерших от рака лёгкого, при поглощённых дозах на лёгкие от плутония более 1 сГр обнаружено достоверное повышение доли умерших до 65 лет и ПГПЖ (ОР составлял 6,37 и 4,95 соответственно) (табл. 5).

При оценке показателей сокращения ПЖ в зависимости от поглощённой дозы на лёгкие от плутония установлен высокий достоверный ОР сокращения ПЖ при разных гистологических типах рака лёгкого (3,35 – 3,80 при ПКР и ДЭР) и особенно в случае АДК, при которой ОР был выше более, чем в 3 раза, то есть 13,04 для умерших до 65 лет и 10,98 для ПГПЖ (табл. 6).

Как отмечалось выше, результаты ряда эпидемиологических исследований, проведённых за последние годы, свидетельствуют о повышенном риске рака лёгкого и более высоком риске развития АДК лёгкого по сравнению с другими гистотипами при инкорпорации плутония. В настоящем исследовании впервые установлено достоверное повышение риска сокращения ПЖ по показателям недолговечности до 65 лет и увеличении ПГПЖ у работников ПО «Маяк», подвергшихся внутреннему альфа-облучению при поглощённых дозах на лёгкие от плутония-239 более 1 сГр. Наиболее благоприятное повышение риска сокращения ПЖ отмечено в случаях АДК, при которых ОР был выше в 2-3 раза по сравнению с другими гистотипами рака лёгкого. Столь мощное сокращение ПЖ при АДК было обусловлено более высокой смертностью и более выраженной преждевременной смертностью, то есть снижением ВС. При ПКР сокращение ПЖ было менее выраженным, главным образом, за счёт повышения смертности и недостоверной тенденции к преждевременной смертности. При ДЭР сокращение ПЖ было примерно таким же, как и при ПКР, однако, в отличие от последних, лишь за счёт повышенной смертности.

Следует отметить, что оценки относительного, избыточного и пожизненного риска имеют важное значение для гигиенического нормирования предела дозовой нагрузки от плутония [19]. В свою очередь, анализ сокращения ПЖ при инкорпорации плутония позволяет не только оценить повышенную и преждевременную смертность, но и определить в дальнейшем ущерб здоровью профессиональных работников на основе потерянных человеко-лет жизни в экономических категориях [20].

Таблица 6

Относительный риск сокращения продолжительности жизни у работников, умерших от рака лёгкого, при разных гистологических типах и поглощённых дозах на лёгкие от плутония-239

Гистотипы	Поглощённая доза на лёгкие, сГр	Рак лёгкого	Человеко-лет наблюдения	Относительный риск (95% ДИ)
<i>Умерли от рака лёгкого до 65 лет</i>				
АДК	< 1,0	15	142 545	1,00 (референтный)
	> 1,0	24	17 496	13,04 (6,90–24,64)
ПКР	< 1,0	15	142 545	1,00 (референтный)
	> 1,0	7	17 496	3,80 (1,59–9,09)
ДЭР	< 1,0	17	142 545	1,00 (референтный)
	> 1,0	7	17 496	3,35 (1,42–7,88)
<i>ПГПЖ</i>				
АДК	< 1,0	492	142 545	1,00 (референтный)
	> 1,0	663	17 496	10,98 (9,76–12,35)
ПКР	< 1,0	423	142 545	1,00 (референтный)
	> 1,0	183	17 496	3,52 (2,96–4,19)
ДЭР	< 1,0	435	142 545	1,00 (референтный)
	> 1,0	198	17 496	3,71 (3,13–4,39)

Заключение

В результате проведенного исследования установлено, что у работников ПО «Маяк», умерших от рака лёгкого, при поглощённой дозе на лёгкие от плутония-239 более 1 сГр наблюдалось сокращение ПЖ, повышение числа работников, не доживших до 65 лет и повышение ПГПЖ при всех изученных гистологических типах рака лёгкого, таких как АДК, ПКР и другие эпителиальные опухоли. Однако данные эффекты при АДК были, как свидетельствуют относительные риски наблюдаемых изменений, в 3 раза более выраженными, чем при остальных гистологических типах рака лёгкого.

Полученные результаты являются основанием, во-первых, для сравнительной количественной оценки вклада повышенной и преждевременной смертности в сокращение ПЖ при разных гистологических типах рака лёгкого у работников ПО «Маяк» и, во-вторых, для оценки ущерба здоровью на основе потерянных человеко-лет жизни.

Финансирование. Работа выполнена при финансовой поддержке ФМБА России в рамках Государственной программы Российской Федерации «Развитие здравоохранения». Государственный контракт № 11.305.16.0 «Оценка радиогенных рисков отдалённых последствий ионизирующих излучений и их профилактика у работников ПО «Маяк» и их потомков первого поколения».

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Литература (п.п. 1, 3, 4, 8, 12, 14, 15 см. References)

- Ильин Л.А., ред. *Плутоний. Радиационная безопасность*. М.: АТ; 2005.
- Тельнов В.И. Плутоний и сокращение продолжительности жизни у профессиональных работников. *Гигиена и санитария*. 2015; 94(3): 56-60.
- Тельнов В.И. Динамика смертности и продолжительности жизни у населения Уральского федерального округа и Российской Федерации (2005-2014 годы). В кн.: *Динамика и инерционность воспроизводства населения и замещения поколений в России и СНГ: VII Уральский демографический форум с международным участием. Социология и история воспроизводства населения России. Том 1*. Екатеринбург; 2016: 39-45.
- Токарская З.Б., Окладникова Н.Д., Беляева З.Д., Аристов В.П. Влияние радиационных и нерадикационных факторов на возник-

- новение различных гистологических типов рака лёгкого у работников радиохимического предприятия. *Вопросы онкологии*. 1996; 42(1): 43-8.
9. Кошурникова Н.А., Сокольников М.Э., Фомин Е.П. Избыточный относительный риск заболеваемости раком легкого в зависимости от гистотипа опухоли. *Вопросы радиационной безопасности*. 2014; (4): 62-9.
 10. Кошурникова Н.А., Шильникова Н.С., Окатенко П.В., Креслов В.В., Болотникова М.Г., Сокольников М.Э. и др. Характеристика когорты рабочих атомного предприятия ПО «Маяк». *Медицинская радиология и радиационная безопасность*. 1998; 43(6): 43-57.
 11. Василенко Е.К. Дозиметрия внешнего облучения работников ПО «Маяк»: приборы, методы, результаты. В кн.: Киселев М.Ф., Романов С.А., ред. *Источники и эффекты облучения работников ПО «Маяк» и населения проживающего в зоне влияния предприятия. Часть 1*. Челябинск: Челябинский дом печати; 2009: 51-100.
 13. Гланц С. *Медико-биологическая статистика*. Пер. с англ. М.: Практика; 1999.
 16. Флейс Дж. *Статистические методы для изучения таблиц долей и пропорций*. Пер. с англ. М.: Финансы и статистика; 1989.
 17. Гублер Е.В. *Вычислительные методы анализа и распознавания патологических процессов*. Ленинград: Медицина; 1978.
 18. Халафян А.А. *STATISTICA 6. Статистический анализ данных*. М.: Бином-Пресс; 2010.
 19. Сокольников М.Э., Востротин В.В., Ефимов А.В., Василенко Е.К., Романов С.А. Пожизненный риск смерти от рака легкого, как мера надежности стандартов радиационной безопасности при радиационном воздействии альфа-излучения плутония-239, поступающего ингаляционным путем. *Радиация и риск*. 2015; 24(3): 59-70.
 20. Быков А.А. О методологии экономической оценки жизни среднестатистического человека (пояснительная записка). *Проблемы анализа риска*. 2007; 4(2): 178-91.
 1. Tirmarche M., Harrison J.D., Laurier D., Paquet F., Blanchardon E., Marsh J.W. Lung cancer risk from radon and progeny and statement on radon: ICRP Publication 115. *Annals ICRP*. 2010; 40(1): 1-64.
 2. Il'in L.A., ed. *Plutonium. Radiation Safety [Plutoniy. Radiatsionnaya bezopasnost']*. Moscow: AT; 2005. (in Russian)
 3. Cameron J.R. Longevity is the most appropriate measure of health effects of radiation. *Radiology*. 2003; 209(1): 14-5.
 4. Cologne J.B., Preston D.L. Longevity of atomic-bomb survivors. *Lancet*. 2000; 356(9226): 303-11.
 5. Tel'nov V.I. Plutonium and lifetime decrease among professional workers. *Gigiena i sanitariya*. 2015; 94(3): 56-60. (in Russian)
 6. Tel'nov V.I. Mortality and lifetime dynamics in the population of the Ural federal district and of the Russian Federation (2005-2014). In: *Dynamics and inertia of population reproduction and replacement of generations in Russia and the CIS: VII Ural demographic forum with international participation. Sociology and history of reproduction of the population of Russia. Volume 1 [Dinamika i inertsiyonnost' vosproizvodstva naseleniya i zameshcheniya pokoleniy v Rossii i SNG: VII Ural'skiy demograficheskii forum s mezhdunarodnym uchastiem. Sotsiologiya i istoriya vosproizvodstva naseleniya Rossii. Tom 1]*. Ekaterinburg; 2016: 39-45. (in Russian)
 7. Tokarskaya Z.B., Okladnikova N.D., Belyaeva Z.D., Aristov V.P. Effects of radiation and non-radiation factors on development of different histological types of lung cancer in the workers of the radiochemical facility. *Voprosy onkologii*. 1996; 42(1): 43-8. (in Russian)
 8. 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 Physics*. 2013; 105(2): 165-76.
 9. Koshurnikova N.A., Sokol'nikov M.E., Fomin E.P. Excess relative risk of lung cancer incidence in relation to histological type of the tumor. *Voprosy radiatsionnoy bezopasnosti*. 2014; (4): 62-9. (in Russian)
 10. Koshurnikova N.A., Shil'nikova N.S., Okatenko P.V., Kreslov V.V., Bolotnikova M.G., Sokol'nikov M.E., et al. Characteristics of the Mayak PA workers' cohort. *Meditsinskaya radiologiya i radiatsionnaya bezopasnost'*. 1998; 43(6): 43-57. (in Russian)
 11. Vasilenko E.K. External exposure dosimetry for Mayak PA workers: instruments, methods, results. In: Kiselev M.F., Romanov S.A., eds. *Radioactive Sources and Radiation Exposure Effects on the Mayak PA Workers and Population Living in the Area of Nuclear Facility Influence. Part 1 [Istochniki i efekty obluheniya rabotnikov PO «Mayak» i naseleniya prozhivayushchego v zone vliyaniya predpriyatiya. Chast' 1]*. Chelyabinsk: Chelyabinskiiy dom pechati; 2009: 51-100. (in Russian)
 12. Khokhryakov V.V., Khokhryakov V.F., Suslova K.G., Vostrotin V.V., Vvedensky V.E., Sokolova A.B., et al. Mayak Worker Dosimetry System 2008 (MWDS-2008): Assessment of internal dose from measurement results of plutonium activity in urine. *Health Phys.* 2013; 104(4): 366-78.
 13. Glantz S.A. *Primer of Biostatistics*. New-York: McGraw-Hill; 1994.
 14. Deltour I., Tretyakov F., Tsareva Yu., Azizova T., Schüz J. Mortality of populations potentially exposed to ionising radiation, 1953-2010, in the closed city of Ozyorsk, Southern Urals: a descriptive study. *Environ. Health*. 2015; 14(1): 91-102.
 15. Preston D.L., Ron E., Tokuoka S., Funamoto S., Nishi N., Soda M., et al. Solid cancer incidence in atomic bomb survivors: 1958-1998. *Radiat. Res*. 2007; 168(1): 1-64.
 16. Fleis J. *Statistical Methods for Rates and Proportions*. New York-Singapore: John Wiley & Sons; 1973.
 17. Gubler E.V. *Computational Methods of Analysis and Identification of Pathologic Processes [Vychislitel'nye metody analiza i raspoznavaniya patologicheskikh protsessov]*. Leningrad: Meditsina; 1978. (in Russian)
 18. Khalafyan A.A. *STATISTICA 6. Statistic Data Analysis [STATISTICA 6. Statisticheskiiy analiz dannykh]*. Moscow: Binom-Press; 2010. (in Russian)
 19. Sokol'nikov M.E., Vostrotin V.V., Efimov A.V., Vasilenko E.K., Romanov S.A. Lifelong risk of lung cancer mortality as a measure of reliability of radiation safety standard regarding exposure to alpha-radiation from inhaled plutonium-239. *Radiatsiya i risk*. 2015; 24(3): 59-70. (in Russian)
 20. Bykov A.A. Methodology of economical assessment of an average person's life (explanatory note). *Problemy analiza riska*. 2007; 4(2): 178-91. (in Russian)