

Тельнов В.И., Лёгких И.В., Окатенко П.В.

Оценка зависимости показателей продолжительности жизни от инкорпорации плутония-239 у работников атомной промышленности

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

Введение. Целью исследования являлась количественная оценка влияния внутреннего облучения на продолжительность жизни (ПЖ) у работников ПО «Маяк» на основе анализа зависимости ряда показателей ПЖ от инкорпорации плутония-239.

Материал и методы. Обследована когорта умерших работников ПО «Маяк» 1948–1958 гг. найма с известным содержанием плутония-239 в организме численностью 2343 человека, в том числе 1739 мужчин и 604 женщины. С помощью регрессионного анализа отдельно у работников разного пола оценивали зависимость общей ПЖ и ПЖ после начала работы (ПЖнр), а также долю лиц, не доживших до нормативного возраста в целом и после начала работы, от инкорпорации плутония-239. Статистические показатели определяли с использованием программы Statistica.

Результаты. Установлено, что на 1 кБк инкорпорации плутония-239: у мужчин общая ПЖ сокращается на 0,32, а ПЖнр – на 0,41 года, у женщин – на 0,22 и 0,28 года соответственно. На 1 кБк инкорпорации плутония-239 у мужчин доля не доживших до 65 лет общей ПЖ и доля не проживших 40 лет после начала работы повышалась на 1,44 и 1,87%, а у женщин – до 70 и 45 лет – на 0,9 и 1,14% соответственно.

Заключение. Таким образом, у работников зависимость от инкорпорации плутония-239 ПЖнр была выше, чем общей ПЖ. Доли работников, не доживших до нормативного возраста после начала работы, были больше, чем доли работников, не доживших до общего нормативного возраста. Зависимость сокращения исследованных показателей ПЖ от инкорпорации плутония-239 у мужчин была более выраженной, чем у женщин.

К л ю ч е в ы е с л о в а : работники ПО «Маяк»; плутоний-239; показатели продолжительности жизни; регрессионный анализ.

Для цитирования: Тельнов В.И., Лёгких И.В., Окатенко П.В. Оценка зависимости показателей продолжительности жизни от инкорпорации плутония-239 у работников атомной промышленности. *Гигиена и санитария*. 2020; 99 (2): 158-162. DOI: <http://dx.doi.org/10.33029/0016-9900-2020-99-2-158-162>

Для корреспонденции: Тельнов Виталий Иванович, кандидат мед. наук, вед. науч. сотр. E-mail: tv@subi.su

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Работа выполнена при финансовой поддержке ФМБА России в рамках Федеральной целевой программы «Промышленная утилизация вооружения и военной техники ядерного комплекса на 2011–2015 годы и на период до 2020 года». Государственный контракт № 11.312.17.10 «Системный анализ радиационной обстановки, рисков и состояния здоровья персонала Госкорпорации «Росатом», выполняющего работы по утилизации ядерных боеприпасов».

Участие авторов: концепция и дизайн исследования – Тельнов В.И.; сбор и обработка материала – Окатенко П.В.; статистическая обработка – Тельнов В.И., Лёгких И.В.; написание текста – Тельнов В.И.; редактирование – Лёгких И.В.; утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи – все соавторы.

Поступила: 12.03.19
Принята к печати: 12.12.19
Опубликована: 23.03.2020

Telnov V.I., Lyogkikh I.V., Okatenko P.V.

Assessment of the relationship between lifetime rates and incorporation of plutonium-239 in atomic production workers

Southern Urals Biophysics Institute of the FMBA of Russia, Ozyorsk, 456780, Russian Federation

Introduction. The objective of the study was the quantitative assessment of the effect of internal exposure to the lifetime in Mayak PA workers based on analyzing the dependence of certain lifetime rates on the incorporation of plutonium-239.

Material and methods. There was investigated a cohort of deceased Mayak PA workers employed in 1948-1958 with known Pu-239 body burden comprising 2343 individuals, including 1739 males and 604 females. Using regression analysis we have assessed the dependence of general lifetime and lifetime after the start of work as well as of proportion of individuals who did not survive until standard age in general and after a start of work from incorporated Pu-239 separately for workers of different age. Statistical values were defined using STATISTICA software.

Results. It was stated that for 1 kBq of incorporated Pu-239: a general lifetime in males decreased by 0.32 years and after a start of work – by 0.41 years; in females – by 0.22 and 0.28 years respectively. For 1 kBq of incorporated Pu-239 proportion of males who did not survive until 65 years of general lifetime and proportion of males who did not survive 40 years after a start of work increased by 1.33 and 1.87% respectively; in females for 70 and 45 years – by 0.90 and 1.14% respectively.

Conclusion. Thus, the workers' dependence of lifetime after a start of work on incorporated Pu-239 was higher than of a general lifetime. A proportion of workers who did not survive until the standard age after the start of work was higher than the propor-

tion of workers who did not survive until a general standard age. Dependence of decrease of lifetime rates under the study from incorporated Pu-239 in males was more significant than in females.

К е у о р д с : *Mayak PA workers; Pu-239; lifetime values; dependence on Pu-239 incorporation; regression analysis.*

For citation: Telnov V.I., Lyogkikh I.V., Okatenko P.V. Assessment of the relationship between lifetime rates and incorporation of plutonium-235 in atomic production workers. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2020; 99(2): 158-162. (In Russ.). DOI: <http://dx.doi.org/10.33029/0016-9900-2020-99-2-158-162>

For correspondence: Vitaliy I. Telnov, MD, Ph.D., DSci., leading researcher of Southern Urals Biophysics Institute, Ozyorsk, 456780, Chelyabinsk region, Russian Federation. E-mail: tvi@subi.su

Information about authors:

Telnov V.I., <http://orcid.org/0000-0003-3509-5372>; Lyogkikh I.V., <https://orcid.org/0000-0003-4932-7496>; Okatenko P.V., <http://orcid.org/0000-0002-8260-1808>

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest

Acknowledgments. The work was performed with financial support of FMBA of Russia and in the framework of the Federal Target Program "Production recycling of weaponry and military equipment of nuclear complex for 2011-2015 and for the period up to 2020". State contract #11.312.17.10 "System analysis of radiation environment, of risks and health status of the personnel of the State Corporation "Rosatom" involved in recycling nuclear weapon".

Contribution: Concept and design of the study – Telnov V.I.; Collection and processing of data – Okatenko P.V.; Statistical processing – Telnov V.I., Lyogkikh I.V.; Text production – Telnov V.I.; Editing – Lyogkikh I.V.; Approval of the final variant of the manuscript, responsibility for consistency of all the parts of the text – all the coauthors.

Received: March 12, 2019

Accepted: December 12, 2019

Published: March 23, 2020

Введение

В экспериментальных исследованиях на различных видах животных установлено, что сокращение продолжительности жизни (ПЖ) является универсальным эффектом внешнего и внутреннего облучения [1, 2]. Хорошо известно неблагоприятное влияние радиационного воздействия на здоровье облучённых людей, которое проявляется на различных уровнях биологической организации организма [3]. ПЖ – одна из важнейших характеристик уровня и качества жизни, являясь интегральным показателем здоровья населения, отражает влияние на человека множества самых разнообразных факторов, в том числе профессиональных. Однако имеющиеся в литературе сведения о ПЖ у облучённых людей весьма немногочисленны и противоречивы. Последнее связано, во-первых, с ограниченным числом облучённых контингентов с достаточной статистической мощностью исследования и, во-вторых, с неодинаковыми видами и дозами облучения и мерами радиационной защиты [4, 5]. Так, при изучении смертности и продолжительности жизни у американских рентгенологов и технического персонала, работавших в 1-й половине прошлого века, установлен повышенный риск смертности от злокачественных новообразований и сердечно-сосудистой патологии [6, 7]. По ранее выполненным оценкам, сокращение ПЖ у этой категории работников в среднем составляло 5,2 года [8]. В то же время в более ранних исследованиях смертности британских радиологов не было обнаружено её повышения, что объяснялось более ранним (на 20 лет) внедрением разработанных стандартов радиационной защиты в Англии по сравнению с США (цит. по: [1]). Однако в последние годы появились данные о тенденции к увеличению риска смертности от рака у британских радиологов, сроки наблюдения за которыми превысили 40 лет после регистрации в 1921–1954 г. [9]. При этом не было получено никаких доказательств влияния облучения на риск неонкологических заболеваний. В отличие от американских и британских радиологов в когорте китайских рентгенологов, работавших с 1950 по 1985 г., отмечено повышение риска злокачественных новообразований на 21% [10]. Изучение ПЖ в данном исследовании не проводилось. Наиболее убедительные данные о сокращении ПЖ при радиационном воздействии были получены в когорте LSS японцев, подвергшихся атомной бомбардировке [5].

Следует подчеркнуть, что рассмотренные выше исследования были посвящены анализу влиянию внешнего облучения на ПЖ. Изучение влияния инкорпорации плутония-239 на ПЖ у людей началось в последние годы. Так, при анализе равных по численности групп работников с разным содержанием плутония-239 было показано сокращение их ПЖ с увеличением уровня инкорпорации плутония-239. При этом с повышением

содержания плутония-239 в организме наблюдалось снижение среднего возраста смерти, то есть сокращение ПЖ, как у мужчин, так и у женщин. Исходя из существенной связи возраста найма на работу с возрастом смерти, в этом исследовании была также определена ПЖ после начала работы как разница между ПЖ и возрастом найма на работу (далее ПЖпнр), которая также снижалась с увеличением содержания плутония-239 в организме [11, 12]. «Такой подход имеет принципиальное значение, так как именно с возраста найма на работу и начинается изучение когорты работников, за пределами которой остаются демографические события предшествующего периода в исходной популяции» [12]. Цель исследования – количественная оценка зависимости ряда статических и потенциальных показателей ПЖ от инкорпорации плутония-239 у работников ПО «Маяк».

Материал и методы

Медико-дозиметрическая характеристика обследованной когорты, входящей в состав Регистра персонала ПО «Маяк» и прослеженной до 2009 г., представлена ранее [11, 12]. Как известно, половые различия в продолжительности жизни установлены для большинства биологических видов [13]. У человека гендерные различия определяются комплексом биологических и социально-экономических факторов, а также их взаимодействием. У населения стран ЕС-15 эти различия в последнее время составляют 5–6 лет [14], а в России, в том числе в Озёрске, – одни из самых больших в мире: 11–12 лет [15, 16]. В данном когортном исследовании различия в ПЖ у женщин (72,3 года) и у мужчин (67,1 года) составили 5,2 года, то есть практически 5 лет. В связи с этим для оценки доли лиц, не доживших до нормативного возраста, были приняты гендерные значения ПЖ, равные 65 и 70 годам у мужчин и женщин соответственно [17]. Для стандарта ПЖпнр были приняты значения 40 и 45 лет соответственно у мужчин и женщин, представляющие собой разницу между нормативной ПЖ и возрастом найма на работу. Ниже представлены показатели ПЖ, использованные в настоящем исследовании:

1. продолжительность жизни (ПЖ, лет);
2. продолжительность жизни после начала работы (ПЖпнр, лет);
3. доля мужчин, не доживших до 65 лет (ПЖ < 65%);
4. доля мужчин, не проживших 40 лет после начала работы (ПЖпнр < 40%);
5. доля женщин, не доживших до 70 лет (ПЖ < 70%);
6. доля женщин, не проживших 45 лет после начала работы (ПЖпнр < 45%).

Статистический анализ проводили с помощью программы Statistica.

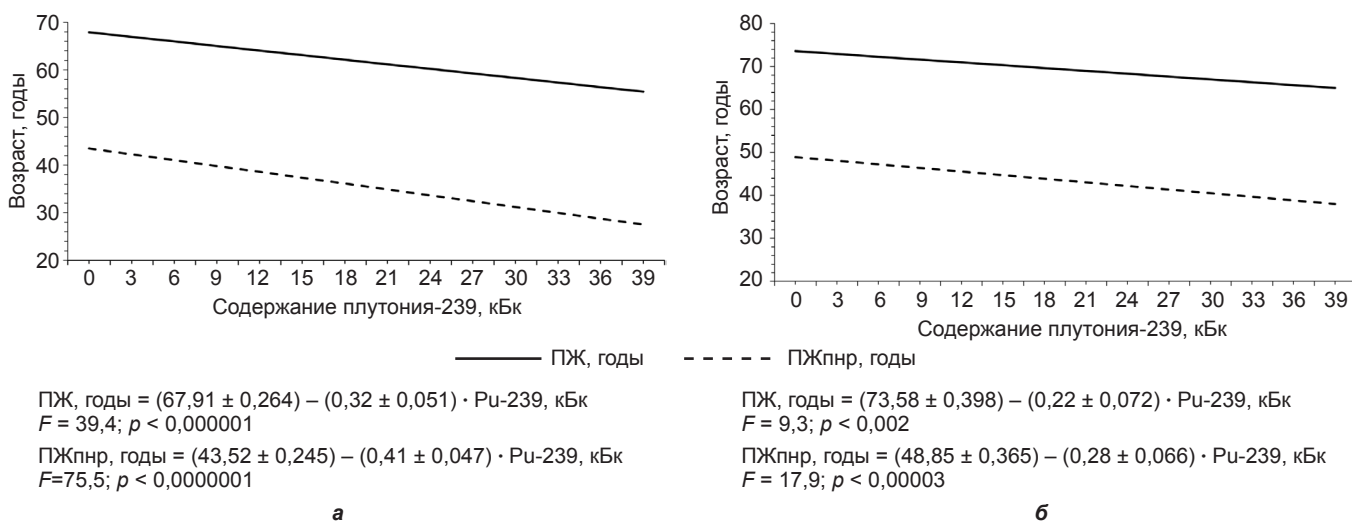


Рис. 1. Зависимость сокращения показателей продолжительности жизни от содержания плутония-239 у мужчин (а) и женщин (б).

Результаты

При частном корреляционном анализе показателей ПЖ и ПЖпнр с внешним и внутренним радиационным воздействием было установлено, что в изучаемой когорте работников ПО «Маяк» достоверную отрицательную корреляционную связь ПЖ и ПЖпнр имели с инкорпорацией плутония-239 (частные коэффициенты корреляции составили $-0,18$ и $-0,23$ у мужчин: $p < 0,001$ и $-0,31$ и $-0,36$ у женщин: $p < 0,001$ соответственно). При этом корреляционная связь ПЖ и ПЖпнр с накопленной дозой внешнего гамма-облучения у мужчин была слабоположительной ($0,07$ и $0,06$; $p < 0,05$), а у женщин – отрицательной ($-0,14$; $p < 0,001$) и недостоверной ($-0,03$) соответственно. Распределение ПЖ и ПЖпнр было близким к нормальному, а распределение содержания плутония-239 – скошенным вправо как у мужчин (коэффициенты асимметрии: $-0,35$; $-0,54$ и $4,23$ соответственно), так и у женщин (коэффициенты асимметрии: $-0,72$; $-1,10$ и $4,69$). Учитывая некоторые различия в характере распределения показателей ПЖ и содержания плутония-239 в организме работников, для оценки их связи были рассчитаны параметрические (коэффициент корреляции Пирсона, r) и непараметрические (ранговый коэффициент корреляции Спирмена, R) коэффициенты корреляции. В результате было установлено, что параметрические и непараметрические коэффициенты корреляции, свидетельствующие о достоверной ($p < 0,05$) отрицательной связи ПЖ и ПЖпнр с инкорпорацией плутония-239, были практически одинаковыми у мужчин (r : $-0,15$ и $-0,20$; R : $-0,14$ и $-0,20$ соответственно) и имели не-большие различия у женщин (r : $-0,13$ и $-0,17$; R : $-0,11$ и $-0,13$ соответственно). Исходя из вышеизложенного, для количественной оценки зависимости показателей ПЖ от содержания плутония-239 был использован линейный регрессионный анализ. Помимо количественных показателей ПЖ были рассчитаны и их качественные характеристики, такие как доля лиц, не доживших до 65 лет у мужчин и до 70 лет у женщин для общей ПЖ, и доля лиц, не проживших после начала работы 40 лет у мужчин и 45 лет у женщин для ПЖпнр. В результате проведенного анализа были получены достоверные уравнения регрессии, описывающие зависимость исследованных показателей ПЖ от инкорпорации плутония-239. Эта зависимость у мужчин была более достоверной, чем у женщин, что объясняется сравнительно большей численностью мужской группы. На основе уравнений регрессии были получены графики зависимости показателей ПЖ от содержания плутония-239. Из рис. 1 следует, что, как у мужчин (рис. 1, а), так и у женщин (рис. 1, б) сокращение ПЖ на 1 кБк плутония было менее выраженным, чем сокращение ПЖпнр. Различия заключались в большей степени сокращения показателей ПЖ у мужчин (ПЖ с 67,9 до 55,4 года, то есть на 18,4%, и ПЖпнр с 43,5 до 27,5

года, то есть на 36,8%), чем у женщин (ПЖ с 73,6 до 65 лет, то есть на 11,7%, и ПЖпнр с 48,9 до 38 лет, то есть на 22,3%). Последнее, очевидно, можно объяснить тем обстоятельством, что ПЖпнр имеет большую корреляционную связь и регрессионную зависимость от инкорпорации плутония, чем общая ПЖ (см. рис. 1, а, б). При этом и у мужчин, и у женщин повышение доли лиц, не доживших соответственно до 40 и 45 лет ПЖпнр, было больше, чем повышение доли лиц, не доживших до 65 и 70 лет ПЖ. Действительно, ПЖпнр, то есть ПЖ после начала работы, была непосредственно связана с инкорпорацией плутония-239, тогда как общая ПЖ включала ещё и период жизни до контакта с радионуклидом. Повышение доли мужчин, не доживших до 65 лет и не проживших 40 лет после начала работы, было более выраженным (рис. 2, а), чем повышение доли женщин, не доживших до 70 лет и не проживших 45 лет после начала работы (рис. 2, б). Также следует отметить, что при максимальных уровнях инкорпорации повышение доли мужчин, не доживших до 40 лет ПЖпнр, достигало практически 100%, а у женщин – только 70% (см. рис. 2, а, б соответственно).

Обсуждение

Таким образом, в проведенном исследовании наряду со статичным подходом, при котором проводилась непосредственная оценка ПЖ, фиксирующая число прожитых лет, осуществлялся и потенциальный подход, то есть оценка доли лиц, не доживших до нормативного возрастного предела в целом, а также после начала работы. В результате проведенного исследования установлена достоверная зависимость сокращения ПЖ и ПЖпнр с инкорпорацией плутония-239 у работников, а также повышения доли лиц, не доживших до 65 (мужчины) и 70 (женщины) лет и не проживших 40 (мужчины) и 45 лет (женщины) после начала работы.

В результате регрессионного анализа показано, что на 1 кБк инкорпорированного плутония-239 у мужчин ПЖ сокращается на 0,32 года, ПЖпнр – на 0,41 года, а у женщин – на 0,22 и 0,28 года соответственно. На 1 кБк инкорпорированного плутония-239 у мужчин доля, не доживших до 65 лет, и доля, не проживших 40 лет после начала работы, повышалась на 1,44 и 1,87% соответственно. У женщин доля, не доживших до 70 лет, и доля, не проживших 45 лет после начала работы, повышалась на 0,90 и 1,14% соответственно. Эффект повышения доли мужчин и женщины, не проживших после начала работы 40 и 45 лет, был сильнее, чем эффект повышения доли лиц, не доживших до 65 и 70 лет соответственно.

При этом данный неблагоприятный эффект был выше у мужчин по сравнению с женщинами. Полученные результаты свидетельствуют о гендерных различиях в показателях ПЖ и их из-

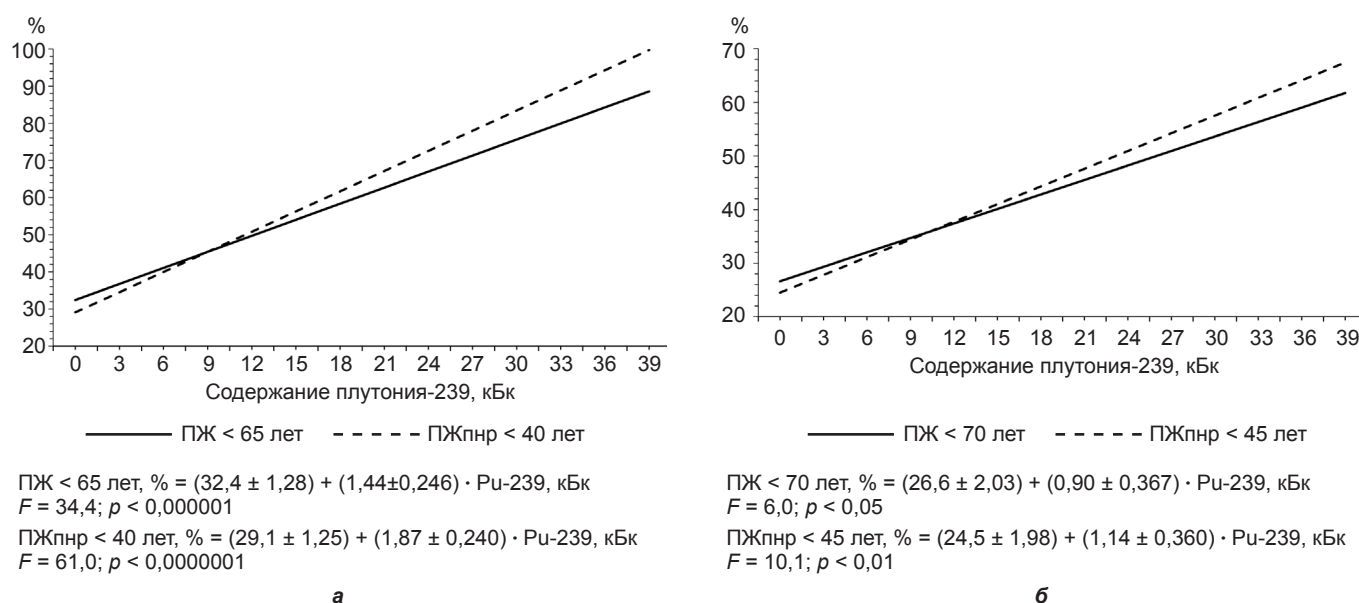


Рис. 2. Зависимость повышения доли мужчин, не доживших до 65 лет и не проживших 40 лет после начала работы (а), и доли женщин, не доживших до 70 лет и не проживших 45 лет после начала работы (б), от содержания плутония-239.

менениях у обследованной когорты работников ПО «Маяк» под влиянием инкорпорации плутония-239, что соответствует литературным представлениям [13].

Ранее было показано, что причиной сокращения ПЖ при инкорпорации плутония-239 является повышенная и преждевременная смертность как у мужчин, так и у женщин [11]. При этом повышенная смертность от опухолевых причин у мужчин и женщин наблюдалась главным образом при злокачественных новообразованиях лёгких и печени, являющихся основными органами депонирования плутония-239, а преждевременная смертность, то есть снижение возраста смерти, как у мужчин, так и у женщин наблюдалась при опухолевой и особенно при неопухолевой патологии основных и не основных органов депонирования. Однако в отличие от повышенной смертности преждевременная смертность отмечалась при всех изученных причинах смерти в виде достоверного сдвига или тенденции.

Заключение

1. С помощью регрессионного анализа проведена оценка зависимости статичных и потенциальных показателей продолжительности жизни от инкорпорации плутония-239 у работников предприятия атомной промышленности ПО «Маяк».

2. Установлена достоверная линейная зависимость продолжительности жизни и продолжительности жизни после начала работы от уровня инкорпорации плутония-239. Зависимость продолжительности жизни после начала работы была выше, чем продолжительности жизни в целом.

3. Доля работников, не доживших до нормативного возраста после начала работы, была больше, чем доли работников, не доживших до общего нормативного возраста.

4. Более выраженная зависимость от инкорпорации плутония-239 показателей продолжительности жизни после начала работы по сравнению с показателями продолжительности жизни в целом объясняется тем, что именно в период после начала работы персонал данного производства подвергался неблагоприятному воздействию плутония.

5. Зависимость сокращения исследованных показателей продолжительности жизни от инкорпорации плутония-239 у мужчин была выше, чем у женщин.

6. Полученные результаты свидетельствуют о целесообразности при оценке продолжительности жизни у работников, контактирующих с вредными факторами производства, использовать не только показатели общей продолжительности жизни, но и показатели продолжительности жизни после начала работы.

Литература (пп. 4–10, 14 см. References)

1. Ярмоненко С.П., Вайнсон А.А. *Радиобиология человека и животных: учебное пособие*. М.: Высшая школа; 2004. 549 с.
2. Москалев Ю.И. *Отдаленные последствия воздействия ионизирующих излучений*. М.: Медицина; 1991. 464 с.
3. Ильин Л.А., Рождественский Л.М., Котеров А.Н., Борисов Н.М. *Актуальная радиобиология: курс лекций*. М.: Издательский дом МЭИ; 2015. 240 с.
11. Тельнов В.И. Плутоний и сокращение продолжительности жизни у профессиональных работников. *Гигиена и санитария*. 2015; 94 (3): 56–60.
12. Тельнов В.И., Третьяков Ф.Д., Окatenko П.В. Инкорпорация плутония-239 и сокращение продолжительности жизни у работников ПО «Маяк» при опухолевых и неопухолевых причинах смерти. *Медицинская радиология и радиационная безопасность*. 2017; 62 (2): 28–34.
13. Гаврилов Л.А., Гаврилова Н.С. *Биология продолжительности жизни. 2-е изд.* М.: Наука; 1991. 280 с.
15. Демографический ежегодник России. 2017: Стат. сб. Росстат. М.; 2017. 263 с.
16. Тельнов В.И., Третьяков Ф.Д. Медико-демографические аспекты здоровья населения моногорода атомной промышленности Озёрска. В кн.: *Здоровье населения промышленных моногородов: программа и материалы междисциплинарной конференции с международным участием. 24–25 апреля 2014 г.* Челябинск; 2014: 104–20.
17. *Практическая демография. Под ред. Л.Л. Рыбаковского*. М.: ЦСП; 2005. 376 с.

References

1. Yarmonenko S.P., Vaynson A.A. *Human and animal radiobiology: Text-book [Radiobiologiya cheloveka i zhivotnykh: Uchebnoye posobiye]*. Moscow: Vysshaya shkola; 2004. 549 p. (in Russian)
2. Moskalev Yu.I. *Long-term effects of ionizing radiation [Otdalennyye posledstviya vozdeystviya ioniziruyushchikh izlucheniya]*. Moscow: Meditsina; 1991. (in Russian)
3. П'ин Л.А., Rozhdestvenskij L.M., Koterov A.N., Borisov N.M. *Current radiobiology: course of lectures [Aktual'naya radiobiologiya: kurs lektsiy]*. Moscow: Izdatel'skiy dom MEI; 2015. 240 p. (in Russian)
4. Yoshinaga Sh., Mabuchi K., Sigurdson A.J., Doody M.M., Ron E. Cancer risks among radiologists and radiologic technologists: review of epidemiologic studies. *Radiology*. 2004; 233 (2): 313–21.
5. Cologne J.B., Preston D.L. Longevity of atomic-bomb survivors. *Lancet*. 2000; 356 (9226): 303–7.
6. Mohan A.K., Hauptmann M., Freedman D.M., Ron E., Matanoski G.M., Lubin J.H. et al. Cancer and other causes of mortality among radiologic technologists in the United States. *Int J Cancer*. 2003; 103 (2): 259–67.
7. Hauptmann M., Mohan A.K., Doody M.M., Linet M.S., Mabuchi K. Mortality from diseases of the circulatory system in radiologic technologists in the United States. *Am J Epidemiol*. 2003; 157 (3): 239–48.
8. Warren S. Longevity and causes of death from irradiation in physicians. *J Am Med Assoc*. 1956; 162 (5): 464–8.
9. Berrington A., Darby S.C., Weiss H.A., Doll R. 100 years of observation on British radiologists: mortality from cancer and other causes 1897–1997. *Br J Radiol*. 2001; 74 (882): 507–19.
10. Wang J.X., Inskip P.D., Boice J.D. Jr., Li B.X., Zhang J.Y., Fraumeni J.F. Jr. Cancer incidence among medical diagnostic X-ray workers in China, 1950 to 1985. *Int J Cancer*. 1990; 45 (5): 889–95.
11. Tel'nov V.I. Plutonij i sokrashhenie prodolzhitel'nosti zhizni u professional'nykh rabotnikov. *Gigiena i sanitariya [Hygiene and Sanitation, Russian journal]*. 2015; 94 (3): 56–60.
12. Tel'nov V.I., Tret'yakov F.D., Okatenko P.V. Inkorporacija plutonija-239 i sokrashhenie prodolzhitel'nosti zhizni u rabotnikov PO «Majak» pri opuholevykh i neopuholevykh prichinah smerti. *Meditsinskaya radiologiya i radiatsionnaya bezopasnost'*. 2017; 62 (2): 28–34.
13. Gavrilov L.A., Gavrilova N.S. *Lifetime biology. 2nd edition [Biologiya prodolzhitel'nosti zhizni. 2-e izd.]*. Moscow: Nauka; 1991. 280 p.
14. Human Mortality Database. <http://www.mortality.org> (05.02.2019).
15. *The Demographic Yearbook of Russia. 2017: Statistical Handbook. Rosstat. 2017 [Demograficheskiy yezhegodnik Rossii: Stat. sb. Rosstat]*. Moscow; 2017. 263 p. (in Russian)
16. Tel'nov V.I., Tret'yakov F.D. Mediko-demograficheskiye aspekty zdorov'ya naseleniya monogoroda atomnoy promyshlennosti Ozerska. In: *[Zdorov'ye naseleniya promyshlennykh monogorodov: programma i materialy mezhdistsiplinarnoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem. 24–25 aprelya 2014 g.]*. Chelyabinsk; 2014: 104–20. (in Russian)
17. *[Prakticheskaya demografiya. Pod red. L.L. Rybakovskogo]*. Moscow: CSP; 2005. 376 p. (in Russian)