

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СМЕРТНОСТИ НАСЕЛЕНИЯ В ГОРОДАХ СЕВЕРОДВИНСКЕ И АРХАНГЕЛЬСКЕ

М. М. Салтыкова <sup>✉</sup>, И. П. Бобровницкий, А. В. Балакаева

Центр стратегического планирования и управления медико-биологическими рисками здоровью Федерального медико-биологического агентства

В связи с широким использованием источников ионизирующего излучения в разных сферах деятельности человека увеличивается число исследований, изучающих влияние облучения в малых дозах на заболеваемость и смертность населения. Целью данного исследования было провести сравнительный анализ смертности от основных неинфекционных заболеваний в городах Северодвинске и Архангельске. В анализ включили данные о возрастных коэффициентах смертности от болезней системы кровообращения (БСК), злокачественных новообразований, болезней органов пищеварения, болезней органов дыхания, а также от внешних причин. Показано, что в Северодвинске выше, чем в Архангельске, смертность от БСК мужчин и женщин в возрасте старше трудоспособного и мужчин в трудоспособном возрасте (медиана (Q<sub>1</sub>; Q<sub>3</sub>): 3349 (3271; 3458) против 2651 (2618; 2756),  $p < 0,012$ ; 1947 (1890; 2022) против 1753 (1727; 1809),  $p < 0,012$ ; 292 (281; 342) против 265 (253; 274),  $p < 0,025$  соответственно). Смертность в Северодвинске от других причин не превосходила соответствующие показатели в Архангельске. Повышенная смертность от БСК в Северодвинске не могла быть обусловлена социально-экономическими условиями или химическим загрязнением атмосферного воздуха, поскольку уровень жизни в Северодвинске выше, чем в Архангельске, а уровень химического загрязнения ниже. Вместе с тем, расположение в Северодвинске предприятий атомного судостроения и хранилища радиоактивных отходов потенциально могло обуславливать хроническое облучение в малых дозах части населения этого города. Необходимо расширение профилактических мероприятий, направленных на раннее выявление поражения кровеносных сосудов у лиц, работающих и проживающих в районах расположения радиационно-опасных объектов.

**Ключевые слова:** болезни системы кровообращения, факторы риска, смертность

**Финансирование:** работа выполнена в рамках государственного задания рег. № НИОКТР АААА-А19-119020890029-1

**Вклад авторов:** М. М. Салтыкова, И. П. Бобровницкий — концепция и дизайн исследования; М. М. Салтыкова, А. В. Балакаева — анализ и интерпретация данных; М. М. Салтыкова, И. П. Бобровницкий, А. В. Балакаева — написание и редактирование текста.

✉ **Для корреспонденции:** Марина Михайловна Салтыкова  
ул. Погодинская, д. 10, стр. 1, 119121, г. Москва, Россия; saltykova@cspmrz.ru

**Статья получена:** 10.11.2021 **Статья принята к печати:** 29.11.2021 **Опубликована онлайн:** 20.12.2021

**DOI:** 10.47183/mes.2021.042

## COMPARATIVE ANALYSIS OF POPULATION MORTALITY IN THE CITIES OF SEVERODVINSK AND ARKHANGELSK

Saltykova MM <sup>✉</sup>, Bobrovnikskiy IP, Balakaeva AV

Centre for Strategic Planning and Management of Biomedical Health Risks of the Federal Medical Biological Agency

Increasing use of ionizing radiation sources in different spheres of human life dictates the need for investigating the effects of low-dose radiation on mortality and morbidity. The aim of this study was to compare mortality from the most common non-communicable diseases in the cities of Severodvinsk and Arkhangelsk. We analyzed the rates of age- and sex-specific mortality from circulatory system diseases (CSD), malignancies, digestive system disorders, respiratory system diseases, and external causes. CSD-related mortality among men and women past working age was higher in Severodvinsk than in Arkhangelsk (median (Q<sub>1</sub>; Q<sub>3</sub>): 3,349 (3,271; 3,458) vs 2,651 (2,618; 2,756),  $p < 0.012$ ; 1,947 (1,890; 2,022) vs 1,753 (1,727; 1,809),  $p < 0.012$ ; 292 (281; 342) vs 265 (253; 274),  $p < 0.025$ , respectively). For other causes of death, mortality rates in Severodvinsk did not exceed those in Arkhangelsk. Increased mortality from CSD in Severodvinsk cannot be linked to socioeconomic conditions or chemical air pollution because the standard of living is higher in Severodvinsk than in Arkhangelsk, whereas the level of chemical pollution is lower. At the same time, the presence of the nuclear shipyard and radioactive waste repository in Severodvinsk could cause chronic exposure to low-dose radiation. It is important to expand preventive measures aimed at early detection of vascular damage in nuclear workers and general groups of population residing in the vicinity of hazardous radiation sites.

**Keywords:** circulatory system diseases, risk factors, mortality

**Funding:** the study was part of the State Assignment (Research and Development Project АААА-А19-119020890029-1).

**Author contribution:** Saltykova MM, Bobrovnikskiy IP — study concept and design; Saltykova MM, Balakaeva AV — data analysis and interpretation; Saltykova MM, Bobrovnikskiy IP, Balakaeva AV — manuscript preparation.

✉ **Correspondence should be addressed:** Marina M. Saltykova  
Pogodinskaya, 10, str. 1, 119121, Moscow, Russia; saltykova@cspmrz.ru

**Received:** 10.11.2021 **Accepted:** 29.11.2021 **Published online:** 20.12.2021

**DOI:** 10.47183/mes.2021.042

В связи с широким использованием источников ионизирующего излучения в разных сферах деятельности человека увеличивается число исследований, изучающих влияние облучения в малых дозах на риск развития болезней системы кровообращения, их обострение и смертность от них [1–8]. Основными источниками ионизирующего излучения, в наибольшей степени влияющего на организм человека, являются естественный радиационный фон

(космическое излучение и излучение от находящихся в земной коре, воздухе и других объектах внешней среды природных радионуклидов) и техногенные радионуклиды. Кроме того, радиационное облучение от медицинского оборудования в последние десятилетия стало вносить существенный вклад в общее количество радиационного облучения населения. При этом предполагается, что как медицинские диагностические и терапевтические

технологии, так и современные технологии атомного производства воздействуют на человека в исключительно малых дозах [4–8].

В настоящее время создана удовлетворительная радиационно-гигиеническая обстановка на предприятиях ядерно-топливного цикла [9, 10]. Однако несколько десятилетий назад на более ранних этапах эксплуатации объектов население, проживающее вблизи таких объектов, могло в течение длительного времени подвергаться облучению в малых дозах. При этом поражение органов-мишеней не является непосредственно результатом действия ионизирующего излучения, а происходит косвенным образом под действием свободных радикалов, образованных в результате облучения [11–13]. Биологическая эффективность такого облучения существенно ниже острого, что связано с включением компенсаторных механизмов, которые в таких условиях могут в течение определенного времени обеспечивать нормальную жизнедеятельность организма, поэтому болезни, вызванные ионизирующим излучением, могут проявиться через много лет после длительного облучения в малых дозах [6]. Это обуславливает необходимость совершенствования методических подходов к мониторингу состояния здоровья в районах расположения радиационно-опасных объектов с использованием стратификации по возрастным подгруппам, что может позволить учесть потенциальное влияние повышенного радиационного загрязнения в предыдущие годы и/или десятилетия. Одно из направлений, позволяющих объективизировать оценку состояния здоровья населения, — проведение сравнительных исследований с использованием данных о смертности в городах, в которых расположены предприятия ядерно-топливного цикла, и в городах без них. Выбор пар городов для сравнения должен позволить исключить влияние таких значимых факторов, как природно-климатические и социально-экономические условия.

Целью исследования было провести сравнительный анализ структуры смертности населения от основных неинфекционных заболеваний в городах Северодвинске (население 183 255 на 2018 г.) и Архангельске (население 349 742 на 2018 г.). На территории Северодвинска расположены градообразующие предприятия атомного судостроения. Архангельск, расположенный в сходных природно-климатических условиях (расстояние между городами менее 30 км), был включен в анализ в качестве города сравнения.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В анализ были включены данные за 2011–2018 гг. о возрастных коэффициентах смертности (число умерших на 100 000 населения соответствующего пола и возраста) от болезни системы кровообращения (БСК), злокачественных новообразований (ЗНО), болезней органов пищеварения (БОП), болезней органов дыхания (БОД), а также от внешних причин (ВП). Данные были предоставлены Федеральной службой государственной

статистики. Использовали как сведения о числе умерших в пятилетних возрастных группах (30–85 лет) с указанием пола и причин смерти, так и данные о смертности в трудоспособном возрасте (18–55 лет для женщин и 18–60 лет для мужчин) и в возрасте старше трудоспособного.

Кроме того, в исследование был включен интегральный показатель химического загрязнения атмосферного воздуха ИЗА (индекс загрязнения атмосферы) по данным Росгидромета [14, 15], а также показатели социально-экономического уровня жизни и миграции населения в изучаемых городах. Для характеристики уровня жизни населения использовали экономический индекс (ЭИ), который вычисляли на основании данных Росстата [16, 17] как среднее значение отношения среднемесячной заработной платы на предприятиях города (показателя, наиболее устойчивого к влиянию экономического неравенства [18]) к прожиточному минимуму. Для оценки миграции населения использовали коэффициент миграционного прироста (отношение миграционного прироста к среднегодовой численности населения), который также вычисляли на основании данных Росстата [16].

Для статистической обработки результатов использовали медиану (median) как показатель центра распределения значений ежегодной смертности и других изучаемых показателей, а также нижний и верхний квартили ( $Q_1$  и  $Q_3$ ) как показатели внутригруппового разброса значений. Для оценки значимости различий между показателями в парах городов с разным уровнем загрязнения использовали двусторонний критерий Уилкоксона, достоверными считали различия при  $p$  (ошибка I рода) менее 0,05. Статистический анализ проводили с помощью программы STATISTICA 10.0 (StatSoft Inc.; США).

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В табл. 1 представлены данные о химическом загрязнении атмосферного воздуха в городах Архангельске и Северодвинске. Уровень химического загрязнения атмосферного воздуха в 2010–2018 гг. в Северодвинске был меньше, чем в Архангельске. При этом уровень жизни в Северодвинске выше, чем в Архангельске (ЭИ в Северодвинске составил 3,95 (3,7–4,2), в Архангельске — 3,3 (3,1–3,8)).

Анализ показателей миграции населения выявил следующие закономерности. Коэффициенты миграционного прироста (на 10 000 человек соответствующего возраста) населения в возрасте старше 60 лет достоверно меньше в Северодвинске по сравнению с Архангельском (для женщин в Северодвинске он составил –93 (–108; –77), в Архангельске — –36 (–44; –26);  $p = 0,018$ ; для мужчин в Северодвинске — –104 (–123; –71), в Архангельске — –56 (–60; –46);  $p = 0,018$ ). Различий в коэффициентах миграционного прироста населения в возрасте 20–59 лет выявлено не было (для женщин он составил –75 (–90; –32) в Северодвинске и –29 (–47; –16) в Архангельске;  $p = 0,176$ ; для мужчин этот показатель был равен –46 (–53; –40) в Северодвинске и –36 (–53; –26) в Архангельске;  $p = 0,612$ ). Отрицательные коэффициенты миграционного прироста

**Таблица 1.** Уровень химического загрязнения атмосферного воздуха в городах Архангельске и Северодвинске в 2010–2018 гг.

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Архангельск	В	В	В	В	П	П	П	Н	П
Северодвинск	П	Н	П	П	Н	Н	Н	Н	Н

**Примечание.** В — высокий (ИЗА от 7 до 13), П — повышенный (ИЗА от 5 до 6), Н — низкий (ИЗА менее 5).

Таблица 2. Смертность мужчин трудоспособного возраста (на 100 тыс. человек) от основных причин смерти

	Смертность в Архангельске, медиана (Q <sub>1</sub> ; Q <sub>3</sub> )	Смертность в Северодвинске, медиана (Q <sub>1</sub> ; Q <sub>3</sub> )	p
БСК	265 (253; 274)	292 (281; 342)	0,025
ЗНО	104 (97; 108)	101 (95; 111)	0,999
БОП	52 (48; 58)	43 (40; 50)	0,207
БОД	40 (35; 44)	29 (27; 30)	0,012
ВП	232 (211; 251)	202 (199; 221)	0,036

Примечание. Q<sub>1</sub> и Q<sub>3</sub> — первый и третий квартили.

указывают на то, что в обоих городах число выбывших больше, чем прибывших.

Данные о смертности от основных причин смерти мужчин представлены в табл. 2 и 4 и женщин в табл. 3 и 5 в трудоспособном возрасте (табл. 2 и 3) и в возрасте старше трудоспособного (табл. 4 и 5). В Северодвинске достоверно выше только смертность от БСК. У мужчин она выше как в трудоспособном возрасте, так и в возрасте старше трудоспособного, у женщин — в возрасте старше трудоспособного. Более детальный анализ смертности от БСК по пятилетним возрастным подгруппам показал, что в Северодвинске достоверно выше смертность от БСК как мужчин, так и женщин во всех возрастных подгруппах старше 65 лет. Вместе с тем не выявлено достоверных различий в пятилетних возрастных группах ни мужчин, ни женщин трудоспособного возраста: хотя медианные значения смертности от БСК в пятилетних возрастных группах трудоспособного возраста выше в Северодвинске, чем в Архангельске, из-за высоких межгодовых различий при небольшом объеме выборки (8 лет, с 2011 по 2018 г.) эти различия недостоверны. Различия в смертности от БСК становятся достоверными только при объединении всех возрастных подгрупп мужчин трудоспособного возраста.

Анализ смертности в трудоспособном возрасте (табл. 2 и 3) от других причин смерти показал, что в Северодвинске достоверно ниже смертность мужчин от БОД и внешних причин, при этом различий в смертности от ЗНО и БОП выявлено не было. Кроме того, не выявлены различия в смертности женщин трудоспособного возраста от основных причин смерти.

Анализ смертности в возрасте старше трудоспособного (табл. 4 и 5) показал, что в отличие от смертности от БСК, которая выше в Северодвинске, смертность и мужчин, и женщин от других основных причин смерти достоверно выше в Архангельске. Исключение составляет смертность мужчин от БОП, по которой не выявлено достоверных различий. При анализе смертности от ЗНО, БОП, БОД и ВП в пятилетних возрастных подгруппах устойчивые закономерности не выявлены.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Проведенный анализ смертности от основных причин смерти показал, что в Северодвинске выше смертность от болезней системы кровообращения (мужчин и

женщин в возрасте старше трудоспособного и мужчин в трудоспособном возрасте), при этом для смертности от других наиболее частых причин смерти либо не было выявлено достоверных различий, либо смертность была выше в Архангельске: для мужчин и женщин в возрасте старше трудоспособного (кроме БОП для мужчин) и для мужчин в трудоспособном возрасте от БОД и ВП.

Поскольку уровень жизни в Северодвинске выше, чем в Архангельске, и миграционный отток в возрасте старше трудоспособного также выше (представляется логичным предположение о том, что люди с хроническими заболеваниями будут уезжать из арктической зоны в первую очередь), различия в социально-экономических условиях не могут обуславливать повышенную смертность от БСК в Северодвинске.

Тот факт, что в Северодвинске выше смертность от болезней системы кровообращения как мужчин, так и женщин в возрасте старше трудоспособного, указывает на высокую значимость экологических факторов по сравнению с производственными, так как к работе во вредных условиях чаще привлекают мужчин, чем женщин. При этом уровень химического загрязнения атмосферного воздуха в Северодвинске ниже, чем в Архангельске, а природно-климатические условия схожие. Приведенные выше факты позволяют предположить, что повышенная смертность населения от БСК в возрасте старше трудоспособного в Северодвинске может быть обусловлена повышенным фоновым уровнем радиационного загрязнения в течение последних десятилетий XX в. и в первые годы XXI в., когда сохранялась возможность загрязнения окружающей среды радиоактивными отходами, поскольку хранилище долговременного хранения твердых радиоактивных отходов «Миронова гора» (ОАО «ПО Севмаш») находилось в экологически небезопасном состоянии [19].

В ходе исследования были выявлены достоверные различия в смертности мужчин трудоспособного возраста от БСК при отсутствии различий в смертности женщин, что косвенно может указывать на значимость профессионального облучения в диапазоне профессионально регламентированных доз. Необходимо отметить, что отсутствие на предприятиях Северодвинска за время их работы штатных радиационных ситуаций (инцидентов, аварий) позволяет считать, что работники атомного производства и жители города могли подвергаться воздействию ионизирующего излучения только в

Таблица 3. Смертность женщин трудоспособного возраста (на 100 тыс. человек) от основных причин смерти

	Смертность в Архангельске, медиана (Q <sub>1</sub> ; Q <sub>3</sub> )	Смертность в Северодвинске, медиана (Q <sub>1</sub> ; Q <sub>3</sub> )	p
БСК	51 (46; 55)	63 (55; 70)	0,208
ЗНО	45 (43; 49)	48 (45; 56)	0,263
БОП	21 (20; 23)	23 (21; 29)	0,400
БОД	9 (7; 14)	7 (5; 8)	0,575
ВП	47 (45; 52)	43 (37; 44)	0,123

Таблица 4. Смертность мужчин в возрасте старше трудоспособного (на 100 тыс. человек) от основных причин смерти

	Смертность в Архангельске, медиана (Q <sub>1</sub> ; Q <sub>3</sub> )	Смертность в Северодвинске, медиана (Q <sub>1</sub> ; Q <sub>3</sub> )	<i>p</i>
БСК	2651 (2618; 2756)	3349 (3271; 3458)	0,012
ЗНО	1458 (1432; 1510)	1333 (1181; 1377)	0,025
БОП	227 (202; 267)	243 (234; 258)	0,779
БОД	328 (266; 393)	194 (171; 213)	0,012
ВП	370 (350; 408)	274 (260; 303)	0,017

Таблица 5. Смертность женщин в возрасте старше трудоспособного (на 100 тыс. человек) от основных причин смерти

	Смертность в Архангельске, медиана (Q <sub>1</sub> ; Q <sub>3</sub> )	Смертность в Северодвинске, медиана (Q <sub>1</sub> ; Q <sub>3</sub> )	<i>p</i>
БСК	1753 (1727; 1809)	1947 (1890; 2022)	0,012
ЗНО	610 (598; 647)	497 (471; 515)	0,012
БОП	165 (154; 169)	121 (118; 134)	0,017
БОД	98 (90; 127)	46 (40; 49)	0,012
ВП	116 (110; 128)	76 (74; 81)	0,012

диапазоне малых доз. Однако поскольку в открытой печати отсутствуют количественные данные о радиационной обстановке на территории Российской Федерации до 2000 г., не представляется возможным провести реконструкцию доз облучения населения в этот период.

Вместе с тем полученные результаты согласуются с данными других исследователей. Так, показано, что заболеваемость гипертонической и цереброваскулярными болезнями контингента, работающего на предприятиях ядерно-топливного цикла, выше соответствующих показателей по ФМБА России и РФ [20, 21]. Показатели заболеваемости и смертности от онкологических заболеваний ниже, чем по ФМБА России и РФ. Кроме того, риск развития артериальной гипертензии (одного из основных факторов риска БСК) повышен у лиц, контактирующих с источниками ионизирующего излучения, по сравнению с лицами без такового. В работе, включавшей метаанализ результатов исследований влияния низких доз радиации на смертность, проводившихся в девяти наиболее промышленно развитых странах с 1990 по 2010 г., показано, что основной вклад в смертность, обусловленную длительным облучением в малых дозах, дают ЗНО и БСК примерно в равных пропорциях [22].

Как показали многочисленные исследования, малые дозы радиации, полученные на протяжении длительного времени, вызывают как оксидативный, так и нитрозирующий стресс, что сопровождается усилением перекисного окисления липидов [11–13]. Такое облучение не вызывает специфических радиационно-индуцированных заболеваний, а в большей степени стимулирует развитие неканцерогенных неинфекционных заболеваний, прежде всего болезни системы кровообращения, которые могут проявиться через много лет после облучения [6, 23, 24].

Основным механизмом, обуславливающим развитие БСК при ионизирующем излучении, является поражение стенки кровеносных сосудов. При этом наиболее

радиочувствителен ее внутренний слой — эндотелий, который участвует в регуляции сосудистого тонуса посредством синтеза и высвобождения вазоактивных веществ [11–13].

## ВЫВОДЫ

Проведенные в последние десятилетия экспериментальные и эпидемиологические исследования показали, что длительное ионизирующее облучение в малых дозах индуцирует развитие БСК, при этом основным механизмом его влияния на сердечно-сосудистую систему является оксидативный и нитрозирующий стресс, приводящий к развитию дисфункции эндотелия сосудов, артериальной гипертензии и атеросклероза. Вероятно, именно эти патологические процессы обуславливают выявленную в данном исследовании большую смертность от БСК в городе Северодвинске. Вместе с тем, как для детального анализа причин повышенной смертности от БСК в Северодвинске, так и для оценки значимости влияния малых доз радиации на заболеваемость и смертность от БСК (наиболее частой причины смерти в РФ) необходимо продолжение исследований с привлечением данных о состоянии здоровья и работников предприятий, и населения, проживающего на территориях вблизи радиационно-опасных объектов. Помимо этого для предотвращения преждевременной смертности и повышения качества жизни населения представляется целесообразным расширение профилактических мероприятий, направленных на раннее выявление поражения кровеносных сосудов у лиц, подвергающихся длительному облучению в малых дозах и/или проживающих на территориях вблизи радиационно-опасных объектов, а также уточнение основных потенциальных путей поступления радионуклидов в организм населения на этих территориях.

## Литература

1. Drubay D, Caer-Lorho S, Laroche P, et al. Mortality from circulatory system diseases among french uranium miners: a nested case-control study. *Radiat Res.* 2015; 183 (5): 550–62.
2. Karpov AB, Semenova YuV, Takhaouov RM, et al. The risk of acute myocardial infarction and arterial hypertension in a cohort of male employees of Siberian Group of Chemical Enterprises exposed to long-term irradiation. *Health Phys.* 2012; 103 (1): 15–23.
3. Zablotska LB, Little MP, Cornett RJ. Potential increased risk of ischemic heart disease mortality with significant dose fractionation in the Canadian Fluoroscopy Cohort Study. *Am J Epidemiol.*

- 2014; (1): 120–31.
- Семенова Ю. В., Карпов А. Б., Тахауов Р. М., Борисова Е. Г., Максимов Д. Е., Тривоженко А. Б. и др. Оценка структурно-функциональных изменений сосудистой системы у лиц, подвергавшихся профессиональному облучению низкой интенсивности. *Медицинская радиология и радиационная безопасность*. 2016; 61 (1): 34–40.
  - Семенова Ю. В., Тахауов Р. М., Карпов А. Б., Литвиненко Т. М., Калинин Д. Е. Факторы риска и пути профилактики острого инфаркта миокарда у персонала предприятий атомной промышленности. *Кардиоваскулярная терапия и профилактика*. 2011; 10 (1): 23–29.
  - Sherif A, Benhammuda M, Fares S, Oroszi TL. Cardiovascular Diseases and Radiations. *Journal of Biosciences and Medicines*. 2017; (5): 72–77.
  - Vrijheid M, Cardi E, Ashmore P, Auvinen A, Bae J-M, H Engel H, et al. Mortality from diseases other than cancer following low doses of ionizing radiation: results from the 15-Country Study of nuclear industry workers. *International Journal of Epidemiology*. 2007; (36): 1126–35.
  - Горский А. И., Чекин С. Ю., Максютов М. А., Кашеев В. В., Кочергина Е. В., Туманов К. А. Радиационно-эпидемиологическая классификация комплексов болезней системы кровообращения человека, ассоциированных с ионизирующим облучением в малых дозах. *Радиация и риск*. 2016; 25 (4): 20–30.
  - Линге И. И., Крышев И. И., редакторы. Радиологическая обстановка в регионах расположения предприятий Росатома. М.: «САМ полиграфист», 2015; 296 с.
  - Бузинов Р. В., редактор. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Архангельской области в 2017 году: государственный доклад. Архангельск, 2018; 149 с.
  - Saroyan KV, Sytnik MV, Miller ES, Puchenkova OA, Soldatov VO, Gashevskaya AS, et al. Combination of Captopril and Darbepoetin Alfa Attenuate Radiation-Induced-Endothelial Dysfunction. *Journal of International Pharmaceutical Research*. 2019; 46 (4): 291–5.
  - Kumarathasan P, Vincent R, Blais E, Saravanamuthu A, Gupta P, Wyatt H, et al. Cardiovascular changes in atherosclerotic ApoE-deficient mice exposed to Co60 ( $\gamma$ ) radiation. *PLoS One*. 2013; 8 (6): e65486. DOI: 10.1371/journal.pone.0065486.
  - Ткаченко М. Н., Коцюрба А. В., Базилук О. В., Таланов С. А., Поперека Г. М., Сенюк О. Ф. и др. Сосудистая реактивность и метаболизм реактивных форм кислорода и азота при действии низких доз радиации. *Радиационная биология. Радиоэкология*. 2009; 49 (4): 462–72.
  - Состояние загрязнения атмосферы в городах на территории России за 2014. Ежегодник. Санкт-Петербург, 2015; 287 с.
  - Состояние загрязнения атмосферы в городах на территории России за 2018. Ежегодник. Санкт-Петербург, 2019; 249 с.
  - База данных показателей муниципальных образований. Доступно по ссылке: <https://www.gks.ru/dbscripts/munst> (дата обращения: 01.06.2021).
  - Величина прожиточного минимума. Доступно по ссылке: <https://www.fedstat.ru/indicator/30957> (дата обращения 01.06.2021).
  - Андреев Е. М., Школьников В. М. Связь между уровнями смертности и экономического развития в России и ее регионах. *Демографическое обозрение*. 2018; 5 (1): 6–24.
  - Иойрыш А. И., Козодубов А. А., Маркаров В. Г., Терентьев В. Г., Чопорняк А. Б. Нормативное правовое обеспечение безопасности при выводе из эксплуатации ядерно- и радиационно-опасных объектов атомного флота России. М.: Наука, 2008; 204 с.
  - Туков А. Р., Гнеушева Г. И., Суворова Ю. В., Прохорова О. Н. Оценка здоровья лиц, подлежащих периодическим медицинским осмотрам и участвующих в разработке, сборке-разборке ядерных боеприпасов. *Медицина экстремальных ситуаций*. 2011; 4 (38): 14–22.
  - Туков А. Р., Гнеушева Г. И., Суворова Ю. В. Оценка заболеваемости болезнями органов кровообращения лиц, работающих в Российских Федеральных ядерных центрах (1994–2008 гг.). *Медицина экстремальных ситуаций*. 2011; 2 (36): 11–16.
  - Little MP, Azizova TV, Bazyka D, Bouffler SD, Cardis E, Chekin S, et al. Systematic Review and Meta-analysis of Circulatory Disease from Exposure to Low-Level Ionizing Radiation and Estimates of Potential Population Mortality Risks. *Environ Health Perspect*. 2012; 120: 1503–11.
  - Карпов А. Б., Семёнова Ю. В., Дубин В. В., Литвиненко Т. М., Кубат И. И., Тахауов Р. М. Риск развития артериальной гипертензии у персонала Сибирского химического комбината. *Радиационная биология. Радиоэкология*. 2008; 48 (4): 456–63.
  - Телкова И. Л. Особенности проявлений сердечно-сосудистых заболеваний у ликвидаторов последствий аварии на Чернобыльской атомной электростанции спустя 25 лет. Клинико-аналитический обзор. *Кардиоваскулярная терапия и профилактика*. 2012; 11 (3): 62–69.

## References

- Drubay D, Caer-Lorho S, Laroche P, et al. Mortality from circulatory system diseases among french uranium miners: a nested case-control study. *Radiat Res*. 2015; 183 (5): 550–62.
- Karpov AB, Semenova YuV, Takhaouov RM, et al. The risk of acute myocardial infarction and arterial hypertension in a cohort of male employees of Siberian Group of Chemical Enterprises exposed to long-term irradiation. *Health Phys*. 2012; 103 (1): 15–23.
- Zablotska LB, Little MP, Cornett RJ. Potential increased risk of ischemic heart disease mortality with significant dose fractionation in the Canadian Fluoroscopy Cohort Study. *Am J Epidemiol*. 2014; (1): 120–31.
- Semenova YuV, Karpov AB, Tahauov RM, Borisova EG, Maksimov DE, Trivozhenko AB, et al. Ocenka strukturno-funkcional'nyh izmenenij sosudistoj sistemy u lic, podvergavshijsja professional'nomu oblucheniju nizkoj intensivnosti. *Medicinskaja radiologija i radiacionnaja bezopasnost'*. 2016; 61 (1): 34–40. Russian.
- Semenova YuV, Tahauov RM, Karpov AB, Litvinenko TM, Kalinkin DE. Faktory riska i puti profilaktiki ostrogo infarkta miokarda u personala predpriyatij atomnoj promyshlennosti. *Kardiovaskuljarnaja terapija i profilaktika*. 2011; 10 (1): 23–29. Russian.
- Sherif A, Benhammuda M, Fares S, Oroszi TL. Cardiovascular Diseases and Radiations. *Journal of Biosciences and Medicines*. 2017; (5): 72–77.
- Vrijheid M, Cardi E, Ashmore P, Auvinen A, Bae J-M, H Engel H, et al. Mortality from diseases other than cancer following low doses of ionizing radiation: results from the 15-Country Study of nuclear industry workers. *International Journal of Epidemiology*. 2007; (36): 1126–35.
- Gorskij AI, Chekin SYu, Maksjutov MA, Kashheev VV, Kochergina EV, Tumanov KA. Radiacionno-jepidemiologicheskaja klassifikacija kompleksov boleznej sistemy krovoobrashhenija cheloveka, associirovannyh s ionizirujushhim oblucheniem v malyh dozah. *Radiacija i risk*. 2016; 25 (4): 20–30. Russian.
- Linge II, Kryshev II, redaktory. *Radiojekologicheskaja obstanovka v regionah raspolozhenija predpriyatij Rosatoma*. М.: «САМ полиграфист», 2015; 296 s. Russian.
- BuzinovRV, redaktor. *Osostojanii sanitarno-jepidemiologicheskogo blagopoluchija naselenija v Arhangel'skoj oblasti v 2017 godu: gosudarstvennyj doklad*. Arhangel'sk, 2018; 149 s. Russian.
- Saroyan KV, Sytnik MV, Miller ES, Puchenkova OA, Soldatov VO, Gashevskaya AS, et al. Combination of Captopril and Darbepoetin Alfa Attenuate Radiation-Induced-Endothelial Dysfunction. *Journal of International Pharmaceutical Research*. 2019; 46 (4): 291–5.
- Kumarathasan P, Vincent R, Blais E, Saravanamuthu A, Gupta P, Wyatt H, et al. Cardiovascular changes in atherosclerotic ApoE-deficient mice exposed to Co60 ( $\gamma$ ) radiation. *PLoS One*. 2013; 8 (6): e65486. DOI: 10.1371/journal.pone.0065486.

13. Tkachenko M N, Kocjuruba AV, Baziljuk OV, Talanov SA, Popereka GM, Senjuk O F, i dr. Sosudistaja reaktivnost' i metabolizm reaktivnyh form kisloroda i azota pri dejstvii nizkikh doz radiacii. Radiacionnaja biologija. Radiojekologija. 2009; 49 (4): 462–72. Russian.
14. Sostojanie zagryznenija atmosfery v gorodah na territorii Rossii za 2014. Ezhegodnik. Sankt-Peterburg, 2015; 287 s. Russian.
15. Sostojanie zagryznenija atmosfery v gorodah na territorii Rossii za 2018. Ezhegodnik. Sankt-Peterburg, 2019; 249 s. Russian.
16. Baza dannyh pokazatelej municipal'nyh obrazovanij. Dostupno po ssylke: <https://www.gks.ru/dbscripts/munst> (data obrashhenija: 01.06.2021). Russian.
17. Velichina prozhitochnogo minimuma. Dostupno po ssylke: <https://www.fedstat.ru/indicator/30957> (data obrashhenija 01.06.2021). Russian.
18. Andreev EM, Shkolnikov VM. Svjaz' mezhdru urovnjami smernosti i jekonomicheskogo razvitija v Rossii i ee regionah. Demograficheskoe obozrenie. 2018; 5 (1): 6–24. Russian.
19. Iojrysh AI, Kozodubov AA, Markarov VG, Terentev VG, Chopomjak AB. Normativnoe pravovoe obespechenie bezopasnosti pri vyvode iz jekspluatacii jaderno- i radiacionno-opasnyh ob'ektov atomnogo flota Rossii. M.: Nauka, 2008; 204 s. Russian.
20. Tukov AR, Gneusheva GI, Suvorova YuV, Prohorova ON. Ocenka zdorov'ja lic, podlezhashhijh periodicheskim medicinskim osmotram i uchastvujushhijh v razrabotke, sborke-razborke jadernyh boepripasov. Medicina jekstremal'nyh situacij. 2011; 4 (38): 14–22. Russian.
21. Tukov AR, Gneusheva GI, Suvorova YuV. Ocenka zabolevaemosti boleznjami organov krovoobrashhenija lic, rabotajushhijh v Rossijskijh Federal'nyh jadernyh centrah (1994–2008 gg.). Medicina jekstremal'nyh situacij. 2011; 2 (36): 11–16. Russian.
22. Little MP, Azizova TV, Bazyka D, Bouffler SD, Cardis E, Chekin S, et al. Systematic Review and Meta-analysis of Circulatory Disease from Exposure to Low-Level Ionizing Radiation and Estimates of Potential Population Mortality Risks. Environ Health Perspect. 2012; 120: 1503–11.
23. Karpov AB, Semjonova YuV, Dubin VV, Litvinenko TM, Kubat II, Tahauov RM. Risk razvitija arterial'noj gipertonii u personala Sibirskogo himicheskogo kombinata. Radiacionnaja biologija. Radiojekologija. 2008; 48 (4): 456–63. Russian.
24. Telkova IL. Osobennosti projavlenij serdechno-sosudistyh zabolevanij u likvidatorov posledstvij avarii na Chernobyl'skoj atomnoj jelektrostantsii spustja 25 let. Kliniko-analiticheskij obzor Kardiovaskuljarnaja terapija i profilaktika. 2012; 11 (3): 62–69. Russian.