

Сидоров В. В.¹, Мингазова Э. Н.^{1,2,3}, Бушманов А. Ю.⁴, Юсупова М. М.⁴, Мингазов Р. Н.¹

К ВОПРОСУ О ВЛИЯНИИ РАДИОАКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ НА ЗДОРОВЬЕ НАСЕЛЕНИЯ И КОНТРМЕРАХ ПРИ РАДИАЦИОННОМ ОБЛУЧЕНИИ КАК ОБЩЕМИРОВОЙ ПРОБЛЕМЕ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

¹ФГБНУ «Национальный научно-исследовательский институт общественного здоровья имени Н. А. Семашко» Минобрнауки России, 105064, г. Москва;

²ФГБОУ ВО «Российский Национальный исследовательский медицинский университет имени Н. И. Пирогова» Минздрава России, 117997, г. Москва;

³ФГБУ ВО «Казанский государственный медицинский университет» Минздрава России, 420012, г. Казань;

⁴ФГБУ ГНЦ «Федеральный медицинский биофизический центр имени А. И. Бурназяна» ФМБА России, 123098, г. Москва

Широкое использование в современном мире радиоактивных источников в сфере энергетики, медицины, проектирования и строительства, для отслеживания загрязняющих веществ и стерилизации продуктов питания увеличивает вероятность случайного облучения. Использование ионизирующего излучения и радиоактивных элементов прямо или косвенно может вызывать опасные для жизни людей осложнения, такие как онкопатология, лучевые ожоги и нарушение иммунитета. Загрязнение окружающей среды радиоактивными элементами и истощение озонового слоя также способствуют повышению уровня радиационного облучения. Для защиты здоровья населения, живущего на загрязненных территориях и потребляющего продукты местного производства, необходима организация системы мониторинга радиоактивного поражения, а также специальных противорадиационных защитных мер в области сельского и лесного хозяйства, охотничьего и рыболовного промысла, обеспечения населения продовольствием.

Цель исследования — анализ современных научных данных о влиянии ионизирующего излучения на репродуктивную функцию и современных подходах, направленных на коррекцию ее нарушений.

Применялись библиографический, информационно-аналитический методы и методы сравнительного анализа.

К л ю ч е в ы е с л о в а: здоровье населения; радиационные вещества; противорадиационные защитные меры.

Для цитирования: Сидоров В. В., Мингазова Э. Н., Бушманов А. Ю., Юсупова М. М., Мингазов Р. Н. К вопросу о влиянии радиоактивных веществ на здоровье населения и контрмерах при радиационном облучении как общемировой проблеме (обзор литературы). Проблемы социальной гигиены, здравоохранения и истории медицины. 2022;30(5):771—775. DOI: <http://dx.doi.org/10.32687/0869-866X-2022-30-5-771-775>

Для корреспонденции: Мингазова Эльмира Нурисламовна, д-р мед. наук, профессор, главный научный сотрудник ФГБНУ «Национальный научно-исследовательский институт общественного здоровья имени Н. А. Семашко» Минобрнауки России, e-mail: elmira_mingazova@mail.ru

Sidorov V. V.¹, Mingazova E. N.^{1,2,3}, Bushmanov A. Yu.⁴, Yusupova M. M.⁴, Mingazov R. N.¹

THE ISSUE OF THE IMPACT OF RADIOACTIVE SUBSTANCES ON PUBLIC HEALTH AND COUNTERMEASURES FOR RADIATION EXPOSURE AS A GLOBAL PROBLEM

¹N. A. Semashko National Research Institute of Public Health, 105064, Moscow, Russia;

²Pirogov Russian National Research Medical University of Minzdrav of Russia, 117997, Moscow, Russian Federation;

³Kazan State Medical University of Minzdrav of Russia, 420012, Kazan, Russian Federation;

⁴A. I. Burnazyan Federal Medical Biophysical Center of the FMBA of Russia, 123098, Moscow, Russian Federation

The widespread use in today's world of radioactive sources in energy, medicine, engineering and construction, for contaminant tracking and food sterilization increases the likelihood of accidental exposure. The use of ionizing radiation and radioactive elements can directly or indirectly cause life-threatening complications, such as oncopathology, radiation burns, and impaired immunity. Pollution of the environment with radioactive elements and depletion of the ozone layer also contribute to an increase in the level of radiation exposure. To protect the health of the population living in contaminated areas and consuming locally produced products, it is necessary to organize a system for monitoring radioactive damage, as well as special anti-radiation protective measures in the field of agriculture and forestry, hunting and fishing, and providing the population with food.

The purpose of the study is to analyze modern scientific data on the effect of ionizing radiation on reproductive function and modern approaches aimed at correcting its violations.

Bibliographic, information-analytical methods and methods of comparative analysis were used.

Key words: fertility; infertility; low birth weight; assisted reproductive technologies; COVID-19.

For citation: Sidorov V. V., Mingazova E.N., Bushmanov A. Yu., Yusupova M. M., Mingazov R. N. The issue of the impact of radioactive substances on public health and countermeasures for radiation exposure as a global problem. *Problemi socialnoi gigieni, zdravookhraneniya i istorii meditsini*. 2022;30(5):771—775 (In Russ.). DOI: <http://dx.doi.org/10.32687/0869-866X-2022-30-5-771-775>

For correspondence: Mingazova Elmira Nurislamovna — D.Sc. in Medical, Professor, Chief Researcher of N. A. Semashko National Research Institute of Public Health, 105064, Moscow, st. Vorontsovo pole, 12, building 1, e-mail: elmira_mingazova@mail.ru

Conflict of interests. The authors declare absence of conflict of interests.

Acknowledgment. The study had no sponsor support

Received 01.02.2022

Accepted 06.04.2022

Потенциально опасные для жизни последствия ионизирующего излучения известны науке давно [1, 2]. Широкое использование в современном мире ра-

диоактивных источников в сфере энергетики, медицины, проектирования и строительства, для отслеживания загрязняющих веществ и стерилизации

продуктов питания увеличивает вероятность случайного облучения. В случае ядерных катастроф и преднамеренного или непреднамеренного контакта с радиоактивным излучением в целях обеспечения безопасности необходима готовность лиц, принимающих первые ответные меры, и военного персонала.

Использование ионизирующего излучения и радиоактивных элементов прямо или косвенно может вызывать опасные для жизни людей осложнения (онкопатологию, лучевые ожоги и нарушение иммунитета); загрязнение окружающей среды радиоактивными элементами и истощение озонового слоя также способствуют повышению уровня радиационного облучения [3].

Уровни естественной радиоактивности, воздействию которой подвергаются люди, могут сохраняться и в почве. Так, в работе, посвященной количественному определению радионуклидов ^{40}K , ^{226}Ra , ^{228}Ra , присутствующих в некоторых овощах, включенных в рацион бразильцев, а также анализу различных концентраций этих радионуклидов в мякоти и кожуре овощей, самые высокие концентрации ^{40}K были обнаружены в корнях свеклы, маниоки, моркови и картофеля, в тыкве, чайоте и огурцах удельная концентрация ^{40}K практически в 2 раза выше; концентрации ^{226}Ra и ^{228}Ra значительно увеличены в свекле и моркови, но этого увеличения не выявлено в образцах картофеля и маниоки; только в одном из образцов (в тыкве) обнаружен искусственный радионуклид ^{137}Cs , а более высокая концентрация радионуклида была обнаружена в кожуре овощей. Обнаруженное линейное увеличение удельной концентрации ^{40}K в кожуре овощей при небольшом контакте с почвой или без него предполагает, что ^{40}K — это радионуклид, который вносит наибольший вклад в эффективную дозу радиоактивности из-за потребления овощей [4].

В контексте профессиональных и медицинских рисков радиационного облучения исследователи сообщают об увеличении смертности от рака на 7% при профессиональном облучении в 75 мЗв [5]. Авторы сообщают, что диагностический рентген может вызвать увеличение на 7% смертности от рака у пациентов (средний возраст 61 год), длительно находящихся на диализе. При этом следует отметить, что средний возраст пациентов, начинающих диализ в США и Европе, более 60 лет и у них есть сопутствующие заболевания. Латентный период рака, вызванного облучением, составляет более 10 лет, риск уменьшается с возрастом на момент облучения [6–8]. У детей, находящихся на диализе, которые подвергаются чрезмерным рентгеновским исследованиям, возможен повышенный риск лейкоза, вызванного радиацией, так как этот рак имеет более короткий латентный период [9].

Радиационные угрозы могут включать в себя распространение радиоактивного материала в результате событий на ядерном объекте, развертывание устройства для рассеивания излучения или, что менее вероятно, детонацию ядерного оружия. Надо учитывать, что ядерные объекты (электростанции,

центры обработки топлива, установки для облучения пищевых продуктов) часто расположены в густонаселенных районах, по мере их старения возрастает риск механических повреждений. Ввиду этого медицинское сообщество должно иметь базовое представление о радиационных опасностях и их медицинском управлении, а также должно быть готово к взаимодействию с соответствующими государственными органами для реализации планов экстренного реагирования с целью снижения уязвимости населения к радиационным рискам [10].

Лица, оказывающие первую помощь при радиологической атаке, и другие спасатели должны быть надлежащим образом обучены и иметь необходимое оборудование для выявления радиационного и радиоактивного загрязнения. Кроме того, лица, принимающие ответные меры, участвующие в восстановлении, реабилитации и возможном восстановлении после аварии, должны придерживаться международных стандартов радиологической защиты персонала, основанных на рекомендациях Международной комиссии по радиологической защите (МКРЗ), включая соответствующие требования по ограничению дозы на рабочем месте [11].

Исследователи считают, что не существует безопасного порога ионизирующего излучения. Как следствие влияния радиоактивных веществ на здоровье человека отмечаются значительное и необратимое ухудшение здоровья населения пораженных территорий [12]. Так, во время аварии на Чернобыльской АЭС наиболее пострадали персонал АЭС и спасатели (пожарные, армия и медицинский персонал). На АЭС работало более 1 тыс. человек, но у них не было ни оборудования для дозиметрии, ни индивидуальной дозиметрии в аварийных условиях. Доза в диспетчерской составляла несколько сотен Гр/ч, а на объекте — более 100 Гр/ч. Из-за острого лучевого синдрома первые пациенты были госпитализированы в течение первого часа. Дозы на месте были почти в 20 раз выше; по официальным данным, за первые 12 ч было госпитализировано 132 человека, с подозрением на острую лучевую болезнь было госпитализировано 273 человека, при этом диагноз подтвердился у 132, а у 28 закончился смертью [13].

После аварии на Чернобыльской АЭС из-за радиоактивного загрязнения примерно из 150 тыс. км² России, Беларуси и Украины были эвакуированы жители территорий в радиусе 30 км. На сильно загрязненных территориях Украины и Беларуси на момент аварии проживало более 8 млн человек, в том числе 2 млн детей, из которых около 350 тыс. были эвакуированы [14].

У пострадавших от смертельной дозы ионизирующего излучения, связанной с радиацией, наблюдаются тяжелые острые радиационные синдромы, включающие снижение количества клеток периферической крови, поражение костного мозга и желудочно-кишечного тракта, что приводит к смерти, вызванной иммунодефицитом [15]. Спустя некоторое время после получения сублетальной дозы гам-

Здоровье и общество

ма-излучения (6 Гр) происходят интенсивные процессы образования свободных радикалов в органах животных (в печени, селезенке, тимусе, лимфатических узлах, тонкой кишке и надпочечниках крыс), клетках (лимфоцитах) и иммунной системе. Воздействие радиации сопровождается накоплением продуктов перекисного окисления липидов в исследуемых органах, отмечается снижение основных показателей иммунитета, уменьшение количества Т-лимфоцитов, подавление неспецифической фагоцитарной защиты организма и повышение циркулирующих иммунных комплексов в сыворотке крови [16].

Одной из наиболее важных реакций тканей на ионизирующее излучение является воспаление, которое может вызывать повреждение различных органов в течение многих лет после облучения. Воспаление представляет собой сложный процесс, проявляющийся в повреждении сосудистой сети, миграции лейкоцитов в облучаемую область и высвобождении различных медиаторов иммунной системы [17]. С увеличением дозы облучения повышается частота поражения сосудов, гипоксии и некроза клеток, что связано с изменениями ответа иммунной системы, приводя к изменению цитокинового профиля [18, 19]. Воздействие на клетки организма низких доз ионизирующего излучения (менее 1 Гр) может стимулировать противовоспалительное действие. Этот эффект является результатом высокой частоты апоптоза по сравнению с некрозом, в то время как воздействие более высоких доз ионизирующего излучения (более 1 Гр) приводит к некрозу, а не апоптозу, вызывая воспалительные реакции.

Следует отметить особую роль педиатров и важность их готовности к радиационным бедствиям, так как краткосрочные и долгосрочные последствия радиационной катастрофы значительно сильнее у детей из-за более высокой минутной вентиляции легких у них, что приводит к большему внутреннему воздействию радиоактивных газов. Известно, что у детей значительно выше риск развития рака, даже если они подвергаются облучению внутриутробно. Дети с большей вероятностью, чем взрослые, получают стойкие психологические травмы после радиационной катастрофы. Педиатры должны работать с органами общественного здравоохранения для обеспечения всестороннего внимания к детям при планировании противорадиационных мероприятий [20].

Общий объем радиоактивного выброса после аварии на Чернобыльской АЭС составил 5300 ПБк, что в 200 раз больше, чем радиоактивность, использованная при бомбежке в Хиросиме [21]. Радиоактивное облако, образовавшееся во время взрыва (450 ПБк), было выброшено в атмосферу на высоте 9 км и перенесено ветрами над многими европейскими странами: сначала над скандинавскими странами, затем изменение направления воздушных потоков загрязнило Польшу, Чехословакию, южные районы Германии и Австрии, позднее южные и юго-восточные ветры, сопровождаемые ливневыми до-

ждями, привели к загрязнению балканских стран [22, 23].

В течение первых трех суток Чернобыльской аварии наиболее опасным для здоровья жителей загрязненных территорий был йод-131 (^{131}I), затем преобладали цезий-137 (^{137}Cs) и стронций-90 (^{90}Sr), в меньшей степени плутоний-241 (^{241}Pu) [24].

Непосредственные контрмеры для защиты населения при радиационной катастрофе на этапе спасения — это уход за людьми с травмами и контроль доступа к ним, последующие действия включают в себя защиту органов дыхания, личную дезактивацию, укрытие, профилактику йодом (если речь идет о радиоiode) и временную эвакуацию; на этапе восстановления в крайних случаях требуются эвакуация и переселение людей. На этом этапе могут потребоваться корректирующие действия, включая очистку, обращение с образующимися радиоактивными отходами, обращение с человеческими останками, содержащими значительные количества радиоактивных веществ, и обращение с оставшимися радиоактивными остатками [11]. В сценариях с большим количеством жертв, таких как радиационные аварии, прием соответствующих фармацевтических средств является наиболее подходящим начальным лечением, поэтому желательны стабильные поставки и регулярные запасы одобренных фармацевтических препаратов [15].

Радиологическая атака также может быть причиной радиоактивного заражения воды, продуктов питания и других широко потребляемых товаров, что способно привести к значительному заражению большого количества людей. Специалисты по радиологической защите должны иметь доступ к населению для предоставления рекомендаций. После атаки основная цель радиологической защиты должна заключаться в предотвращении возникновения острых последствий для здоровья, связанных с радиационным облучением (так называемых детерминированных эффектов), и в ограничении вероятности поздних последствий для здоровья, так называемых стохастических эффектов — рака и некоторых наследственных заболеваний.

Также дополнительной целью является сведение к минимуму загрязнения окружающей среды, особенно лесных и водных угодий, радиоактивными остатками и последующих нарушений повседневной жизни населения. Так, леса и влажные части водно-болотных угодий около Чернобыльской АЭС до сих пор являются своего рода резервуаром загрязнения, потому что они не подлежат дезактивации. Выделяется особый вид радиоактивного воздействия на население посредством дров, используемых для отопления: зола, образующаяся при сжигании древесины, содержит в 20 раз больше ^{90}Sr , чем образцы древесины, она используется для удобрения пахотных земель, загрязняя сельскохозяйственные земли и сельскохозяйственную продукцию, выращиваемую на этих участках. В условиях, когда загрязненные леса не контролируются, они представляют большой риск из-за возможности возникнове-

ния лесных пожаров. Так, после аварии на Чернобыльской АЭС было отмечено более 1 тыс. лесных пожаров, образовавшиеся при этом зола и дым содержали радионуклиды, которые вносили весомый вклад в общее радиоактивное загрязнение воздуха [25].

Выброс радионуклидов из поврежденных реакторов АЭС Фукусима-1 был впервые определен 12 марта 2011 г.; 15 марта 2011 г. высокие уровни радиоактивного йода и радиоцезия были обнаружены в верхнем слое почвы и в растениях; нормативные значения для радиоактивного йода были превышены в пробах, взятых с 16 марта 2011 г. по 21 мая 2011 г., а также в пробах радиоцезия с 18 марта 2011 г. по март 2012 г. После аварии на АЭС Фукусима произошел взрыв выделившегося водорода и выброс радиоактивного ^{131}I со скоростью 1015 Бк/ч, большая часть радиоактивного загрязнения в Тихом океане произошла через загрязненную воду, которая вытекала из АЭС и содержала радиоактивные ^{131}I и ^{137}Cs . Этот процесс, хотя и в меньшей степени, продолжался и спустя 5 лет после аварии [25–28].

При катастрофах с радиоактивным загрязнением системы радиоактивного мониторинга охватывают территории выборочно, объективные данные радиоактивного загрязнения отдельных популяций, лиц и продуктов питания не всегда доступны [29].

Для защиты здоровья населения, живущего на загрязненных территориях и потребляющего продукты местного производства, необходима организация системы мониторинга радиоактивного поражения, а также специальных противорадиационных защитных мер в области сельского и лесного хозяйства, охотничьего и рыболовного промысла, обеспечения населения продовольствием.

Исследование не имело спонсорской поддержки.
Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов.

ЛИТЕРАТУРА

- Weiss J. F., Landauer M. R. History and development of radiation-protective agents. *Int. J. Rad. Biol.* 2009;85(7):539–73.
- Singh V. K., Romaine P. L., Seed T. M. Medical countermeasures for radiation exposure and related injuries: characterization of medicines, FDA-approval status and inclusion into the strategic national stockpile. *Health Phys.* 2015;108(6):607–30.
- Oh J.-Y., Fernando S., Jeon Y.-J. Potential applications of radioprotective phytochemicals from marine algae. *Algae.* 2016;31(4):403–14.
- Garcêz R. W. D., Lopes J. M., Filgueiras R. A., Silva A. X. Study of K-40, Ra-226, Ra-228 and Ra-224 activity concentrations in some seasoning and nuts obtained in Rio de Janeiro city. *Brazil Food Sci. Technol. (Campinas).* 2018;39(3):22–8.
- Vrijheid M., Cardis E., Blettner M. The 15 country collaborative study of cancer risk among radiation workers in the nuclear industry: design, epidemiological methods, and descriptive results. *Radiat. Res.* 2007;167(4):396–416.
- Kinsella S. M., Coyle J. P., Long E. B. Maintenance hemodialysis patients have high cumulative radiation exposure. *Kidney Int.* 2010;78(8):789–93.
- Stel V. S., Tomson C., Ansell D. Level of renal function in patients starting dialysis: an ERA-EDTA registry study. *Nephrol. Dial. Transplant.* 2010;25(10):3315–25.
- Preston D. L., Ron E., Tokuoka S. Solid cancer incidence in atomic bomb survivors: 1958–1998. *Radiat. Res.* 2007;168(1):1–64.
- Richardson D., Sugiyama H., Nishi N. Ionizing radiation and leukemia mortality among Japanese atomic bomb survivors, 1950–2000. *Radiat. Res.* 2009;172(3):368–82.

- Timins J. K., Lipoti J. A. Radiological terrorism. *N. J. Med.* 2003;100(6):14–21.
- Valentin J. Protecting people against radiation exposure in the event of a radiological attack. A report of The International Commission on Radiological Protection. *Ann. ICRP.* 2005;35(1):1–110.
- Douple E. B., Mabuchi K., Cullings H. M., Preston D. L., Kodama K., Shimizu Y., Fujiwara S., Shore R. E. Long-term radiation-related health effects in a unique human population: lessons learned from the atomic bomb survivors of Hiroshima and Nagasaki. *Disaster Med. Pub. Health Prep.* 2011;5(1):122–33.
- International Chernobyl Project: Assessment of Radiological Consequences, and Evaluation of Protective Measurements. Report by an International Advisory Committee. *Nucl. Med. Biol.* 1994;21(1):3–7.
- Baverstock K., Williams D. The Chernobyl Accident 20 Years On: An Assessment of the Health Consequences and the International Response. *Environm. Health Persp.* 2006;114:1312–7.
- Kashiwakura I. Overview of Radiation-protective Agent Research and Prospects for the Future. *Japan J. Health Phys.* 2017;52(4):285–95.
- Ilderbayeva G., Utegenova A., Sadvokasova L., Tuleutayeva R., Abdisheva S., Kalieva S. Study of immune status and the role of free-radical oxidation in organs and cells under the influence of gamma-radiation in the remote period. *Life Sci. J.* 2014;11(9):235–38.
- Yahyapour R., Motevaseli E., Rezaeeyan A., Abdollahi H., Farhood B., Cheki M., et al. Mechanisms of radiation bystander and non-targeted effects: implications to radiation carcinogenesis and radiotherapy. *Curr. Radiopharm.* 2017;11(1):34–45.
- Najafi M., Shirazi A., Motevaseli E., Rezaeeyan A. H., Salajegheh A., Rezapoor S. Melatonin as an anti-inflammatory agent in radiotherapy. *Inflammopharmacology.* 2017;25(4):403–13.
- Rodel F., Frey B., Gaipf U., Keilholz L., Fournier C., Manda K. Modulation of inflammatory immune reactions by low-dose ionizing radiation: molecular mechanisms and clinical application. *Curr. Med. Chem.* 2012;19(12):1741–50.
- Radiation disasters and children. American Academy of Pediatrics Committee on Environmental Health. *Pediatrics.* 2000;111(6):1455–66.
- Lina W., Chend L., Yuc W., Maa H., Zenga Z., Linf J. Radioactivity impacts of the Fukushima Nuclear Accident on the atmosphere. *Environm. Radioact.* 2015;102:311–22.
- Infield D. Summary Report on the Post-Accident Review Meeting on the Chernobyl Accident: Safety Series. *Phys. Bull.* 1987;38:230.
- Mettler F. A., Sinclair W. K., Anspaugh L., Edington C., Harley J. H., Ricks R. C. The 1986 and 1988 UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation) reports: findings and implications. *Health Phys.* 1990;58(3):241–50.
- UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation). Sources and Effects of Ionizing Radiation: UNSCEAR 2008 Report to the General Assembly. New York: United Nations; 2008. Режим доступа: www.unscear.org/docs/reports/2008/1180076_Report_2008_Annex_D.pdf
- Greenpeace International, February 2012. Lessons from Fukushima. Режим доступа: <http://www.greenpeace.org/international/en/publications/Campaign-reports/Nuclear-reports/Lessons-from-Fukushima>
- Hamada N., Ogino H., Fujimichi Y. Safety regulations of food and water implemented in the first year following the Fukushima nuclear accident. *J. Radiat. Res.* 2012;53(5):641–71.
- International Atomic Energy Agency (IAEA). The Fukushima Daiichi Accident: Report by the Director General. Vienna: IAEA; 2015. 1254 p.
- Brumfiel G., Cyranoski D. Fukushima deep in hot water. *Nature.* 2011;474(7350):135–6.
- Pellmar T. C., Rockwell S. Priority list of research areas for radiological nuclear threat countermeasures. *Radiat. Res.* 2005;163(1):115–23.

Поступила 01.02.2022
Принята в печать 06.04.2022

REFERENCES

- Weiss J. F., Landauer M. R. History and development of radiation-protective agents. *Int. J. Rad. Biol.* 2009;85(7):539–73.
- Singh V. K., Romaine P. L., Seed T. M. Medical countermeasures for radiation exposure and related injuries: characterization of medicines, FDA-approval status and inclusion into the strategic national stockpile. *Health Phys.* 2015;108(6):607–30.

Здоровье и общество

3. Oh J.-Y., Fernando S., Jeon Y.-J. Potential applications of radioprotective phytochemicals from marine algae. *Algae*. 2016;31(4):403–14.
4. Garc ez R. W. D., Lopes J. M., Filgueiras R. A., Silva A. X. Study of K-40, Ra-226, Ra-228 and Ra-224 activity concentrations in some seasoning and nuts obtained in Rio de Janeiro city. *Brazil Food Sci. Technol. (Campinas)*. 2018;39(3):22–8.
5. Vrijheid M., Cardis E., Blettner M. The 15 country collaborative study of cancer risk among radiation workers in the nuclear industry: design, epidemiological methods, and descriptive results. *Radiat. Res.* 2007;167(4):396–416.
6. Kinsella S. M., Coyle J. P., Long E. B. Maintenance hemodialysis patients have high cumulative radiation exposure. *Kidney Int.* 2010;78(8):789–93.
7. Stel V. S., Tomson C., Ansell D. Level of renal function in patients starting dialysis: an ERA-EDTA registry study. *Nephrol. Dial. Transplant.* 2010;25(10):3315–25.
8. Preston D. L., Ron E., Tokuoka S. Solid cancer incidence in atomic bomb survivors: 1958–1998. *Radiat. Res.* 2007;168(1):1–64.
9. Richardson D., Sugiyama H., Nishi N. Ionizing radiation and leukemia mortality among Japanese atomic bomb survivors, 1950–2000. *Radiat. Res.* 2009;172(3):368–82.
10. Timins J. K., Lipoti J. A. Radiological terrorism. *N. J. Med.* 2003;100(6):14–21.
11. Valentin J. Protecting people against radiation exposure in the event of a radiological attack. A report of The International Commission on Radiological Protection. *Ann. ICRP*. 2005;35(1):1–110.
12. Duple E. B., Mabuchi K., Cullings H. M., Preston D. L., Kodama K., Shimizu Y., Fujiwara S., Shore R. E. Long-term radiation-related health effects in a unique human population: lessons learned from the atomic bomb survivors of Hiroshima and Nagasaki. *Disaster Med. Pub. Health Prep.* 2011;5(1):122–33.
13. International Chernobyl Project: Assessment of Radiological Consequences, and Evaluation of Protective Measurements. Report by an International Advisory Committee. *Nucl. Med. Biol.* 1994;21(1):3–7.
14. Baverstock K., Williams D. The Chernobyl Accident 20 Years On: An Assessment of the Health Consequences and the International Response. *Environm. Health Persp.* 2006;114:1312–7.
15. Kashiwakura I. Overview of Radiation-protective Agent Research and Prospects for the Future. *Japan J. Health Phys.* 2017;52(4):285–95.
16. Ilderbayeva G., Utegenova A., Sadvokasova L., Tuleutayeva R., Abdisheva S., Kalieva S. Study of immune status and the role of free-radical oxidation in organs and cells under the influence of gamma-radiation in the remote period. *Life Sci. J.* 2014;11(9):235–38.
17. Yahyapour R., Motevaseli E., Rezaeyan A., Abdollahi H., Farhood B., Cheki M., et al. Mechanisms of radiation bystander and non-targeted effects: implications to radiation carcinogenesis and radiotherapy. *Curr. Radiopharm.* 2017;11(1):34–45.
18. Najafi M., Shirazi A., Motevaseli E., Rezaeyan A. H., Salajegheh A., Rezapoor S. Melatonin as an anti-inflammatory agent in radiotherapy. *Inflammopharmacology*. 2017;25(4):403–13.
19. Rodel F., Frey B., Gaipf U., Keilholz L., Fournier C., Manda K. Modulation of inflammatory immune reactions by low-dose ionizing radiation: molecular mechanisms and clinical application. *Curr. Med. Chem.* 2012;19(12):1741–50.
20. Radiation disasters and children. American Academy of Pediatrics Committee on Environmental Health. *Pediatrics*. 2000;111(6):1455–66.
21. Lina W., Chend L., Yuc W., Maa H., Zenga Z., Linf J. Radioactivity impacts of the Fukushima Nuclear Accident on the atmosphere. *Environm. Radioact.* 2015;102:311–22.
22. Infield D. Summary Report on the Post-Accident Review Meeting on the Chernobyl Accident: Safety Series. *Phys. Bull.* 1987;38:230.
23. Mettler F. A., Sinclair W. K., Anspaugh L., Edington C., Harley J. H., Ricks R. C. The 1986 and 1988 UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation) reports: findings and implications. *Health Phys.* 1990;58(3):241–50.
24. UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation). Sources and Effects of Ionizing Radiation: UNSCEAR 2008 Report to the General Assembly. New York: United Nations; 2008. Available at: www.unscear.org/docs/reports/2008/1180076_Report_2008_Annex_D.pdf
25. Greenpeace International, February 2012. Lessons from Fukushima. Available at: <http://www.greenpeace.org/international/en/publications/Campaign-reports/Nuclear-reports/Lessons-from-Fukushima>
26. Hamada N., Ogino H., Fujimichi Y. Safety regulations of food and water implemented in the first year following the Fukushima nuclear accident. *J. Radiat. Res.* 2012;53(5):641–71.
27. International Atomic Energy Agency (IAEA). The Fukushima Daiichi Accident: Report by the Director General. Vienna: IAEA; 2015. 1254 p.
28. Brumfiel G., Cyranoski D. Fukushima deep in hot water. *Nature*. 2011;474(7350):135–6.
29. Pellmar T. C., Rockwell S. Priority list of research areas for radiological nuclear threat countermeasures. *Radiat. Res.* 2005;163(1):115–23.