

СЛУЧАИ АВАРИЙНОГО ПОСТУПЛЕНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ У РАБОТНИКОВ ПРЕДПРИЯТИЯ АТОМНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Жунтова Г.В.¹, Банникова М.В.¹, Савина Г.Ф.², Вологодская И.А.², Азизова Т.В.¹

¹ Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

«Южно-Уральский институт биофизики» Федерального медико-биологического агентства,
456783, Россия, Челябинская обл., г. Озерск, Озерское шоссе, д. 19

² Федеральное государственное бюджетное учреждение здравоохранения «Клиническая
больница №71» Федерального медико-биологического агентства, 456780, Россия,

Челябинская обл., г. Озерск, ул. Строительная, д. 1

e-mail: clinic@subi.su

Резюме.

Поступление радионуклидов в результате аварийных и нештатных ситуаций (АНС) на радиационно опасных предприятиях представляет серьезную угрозу для здоровья работников. Такие ситуации происходят редко, но требуют повышенного внимания и незамедлительного реагирования.

Проанализированы АНС на предприятии атомной промышленности ФГУП «Производственное объединение «Маяк» в 2010–2020 гг. Установлено, что наиболее часто работники подвергались воздействию плутония и америция (90% всех АНС), преобладал перкутанный путь поступления радионуклидов, в том числе при микротравмах кожи рук (62% АНС). В 13% случаев факт аварийного поступления радионуклидов был выявлен ретроспективно при проведении планового дозиметрического обследования работников.

Продолжительность временной утраты трудоспособности участников АНС составляла от 2-х дней до 2,5 месяцев при необходимости длительной декорпорационной терапии. Продолжительность специального дозиметрического обследования до получения заключительных оценок ожидаемых эффективных доз облучения (ОЭД), обусловленных аварийным поступлением радионуклидов, варьировала от 2 дней до 12 месяцев. Превышение регламентированных пределов ОЭД вследствие аварийного поступления радионуклидов обнаружено у четверых участников АНС, еще двое работников взяты под тщательный дозиметрический контроль по индивидуальной программе для исключения возможности превышения пределов доз профессионального облучения в дальнейшем. В отдаленном периоде АНС каких-либо особенностей в структуре хронической заболеваемости участников не установлено, зарегистрирован 1 случай злокачественного новообразования (базалиома кожи), выявленный спустя 5 лет после АНС.

Результаты анализа АНС свидетельствуют о необходимости повышения надежности текущего дозиметрического контроля на предприятии и усиления профилактики

производственного травматизма. Для повышения эффективности мероприятий по декорпорации радионуклидов важное значение имеет сокращение сроков направления участников АНС на медико-дозиметрическое обследование и лечение.

Ключевые слова: аварийное поступление радионуклидов; работники атомной промышленности; ПО «Маяк»

INTAKES OF RADIONUCLIDES BY NUCLEAR FACILITY WORKERS DURING RADIATION ACCIDENTS

Zhuntova G.V.¹, Bannikova M.V.¹, Savina G.F.², Vologodskaya I.A.², Azizova T.V.¹

¹ Southern Urals Biophysics Institute, 19 Ozyorskoe shosse, Ozyorsk, Chelyabinsk region, Russia, 456783

² Federal State Budgetary Healthcare Institution Clinical Hospital No.71 affiliated to the Federal Medical Biological Agency of Russia, 1 Stroitel'naya str., Ozyorsk, Chelyabinsk region, Russia, 456780

e-mail: clinic@subi.su

Summary. The intake of radionuclides during radiation accidents and non-routine situations (RANRS) at radiation-hazardous facilities poses a serious threat to workers' health. These situations happen rarely, however they still require increased attention and immediate response.

We analysed RANRS that happened at the nuclear facility Mayak Production Association (PA) during 2010–2020. It was found that intakes of plutonium and americium were predominant (90% of total RANRS), and percutaneous intakes of radionuclides, including those through hand skin microtraumas (62% of RANRS), prevailed. 13% of accidental intakes of radionuclides were found retrospectively during routine radiation dose monitoring.

The duration of temporary disability of workers involved in RANRS ranged from 2 days to 2.5 months due to the need of the long-term decorporation therapy. The duration of individual dosimetry monitoring ranged from 2 days to 12 months until terminal estimates of expected effective radiation doses (EERD) due to the accidental intakes of radionuclides were obtained. Four participants of RANRS demonstrated accidental EERD that exceeded the dose limits, and individual dosimetry monitoring was organised for two workers to eliminate the possibility of exceeding occupational radiation limits in later periods. No peculiarities of the long-term chronic morbidity of nuclear accident participants were found. 1 malignant neoplasm (skin basalioma) was diagnosed in 5 years after a RANRS.

RANRS analysis highlighted the need to improve reliability of the existing radiation dose monitoring at a nuclear facility and to scale up prevention of work-related injuries. To enhance

effectiveness of radionuclide decorporation actions, it is important to shorten the time before the start of medical and dosimetry monitoring and relevant therapy for participants of RANRS.

Key words: accidental intakes of radionuclides; workers of the nuclear industry; Mayak PA

Введение. Отечественная атомная промышленность прошла сложный путь становления и развития [1]. На сегодняшний день в атомной отрасли достигнут существенный прогресс в области охраны труда и обеспечении требований радиационной безопасности. Аварийные и нештатные ситуации (далее АНС), в результате которых возникает угроза поступления в организм работников радионуклидов сверх нормируемых пределов [2], являются редким событием, но регистрируются регулярно [3–6]. Подобные ситуации возникают при отказе оборудования, нарушении технологических процессов и вследствие ошибок, допускаемых персоналом.

Инкорпорация радионуклидов может приводить к развитию радиационно-индуцированных эффектов, представляющих серьезную опасность для здоровья [7–10]. В этой связи особо важное значение имеет своевременное и качественное проведение мероприятий, направленных на предотвращение аварийного поступления радионуклидов в организм и ускорение их выведения, если такое поступление произошло [11–12].

Систематизация информации о случаях аварийного поступления радионуклидов и обобщение накопленного опыта – необходимое условие для совершенствования медицинского сопровождения участников АНС и определения наиболее результативных подходов к проведению декорпорационной терапии. Надежным источником данных об эффектах острого и хронического профессионального облучения являются результаты клинико-эпидемиологического наблюдения за работниками первого отечественного предприятия атомной промышленности ФГУП «Производственное объединение «Маяк» (ПО «Маяк») [13–14].

Цель исследования – анализ медицинского сопровождения случаев аварийного поступления радионуклидов у работников предприятия атомной промышленности ПО «Маяк».

Материалы и методы. В исследование включены работники, которые в 2010–2020 гг. стали участниками АНС на ПО «Маяк», связанных с угрозой поступления в организм радионуклидов в количествах, превышающих поступление в штатных условиях. В «Центре профессиональной радиационной патологии» ФГБУЗ «Клиническая больница № 71» (далее – ЦПРП) было проведено внеочередное профессиональное медицинское обследование участников АНС в объеме, регламентированном Минздрава РФ от 28.01.2021 № 29-н [15], а при наличии показаний – лечение, направленное на декорпорацию радионуклидов.

Специальное дозиметрическое обследование и расчеты ожидаемых эффективных доз облучения (ОЭД) за счет поступления радионуклидов в результате АНС выполнены сотрудниками лаборатории дозиметрии внутреннего облучения ФГБУН «Южно-Уральский институт биофизики» (далее ЛДВО).

Проанализированы результаты внеочередного профессионального медицинского обследования, а также структура хронической заболеваемости и причин смерти участников АНС по состоянию на 31.12.2021 г. Представлены частоты для качественных переменных, среднее $\pm$ ошибка среднего и медиана – для количественных переменных [16].

Результаты. В 2010–2020 гг. в условиях ЦПРП ФГБУЗ «Клиническая больница №71» прошли внеочередное профессиональное медицинское обследование участники 61-ой АНС на ПО «Маяк». Большинство (90%) АНС было связано с воздействием на работников альфа-активных аэрозолей плутония и америция (таблица 1). В рассматриваемый период времени зарегистрировано 60 аварийных ситуаций, в которых участвовало по одному работнику, и 1 аварийная ситуация, участниками которой стали трое работников. Среди участников АНС (всего 61 человек) двое работников были дважды вовлечены в аварийные ситуации в течение 2010–2020 гг.: в одном случае – с интервалом менее двух месяцев, в другом случае – с интервалом около 5,5 лет.

Таблица 1.

Характеристика аварийных/нештатных ситуаций в зависимости от поступления различных радионуклидов

Характеристика	Радионуклид				Всего
	плутоний-238, плутоний-239, америций-241	уран-235	цезий-137	стронций-90	
Число аварийных ситуаций, в том числе:	55	2	3	1	61

с одним участником	54	2	3	1	60
с тремя участниками	1	—	—	—	1
Число работников — участников аварийных ситуаций	56*	1*	3	1	61
Примечание: * — двое работников дважды являлись участниками аварийных ситуаций в 2010–2020 гг.					

У большинства участников АНС преобладало поступление радионуклидов через поврежденную кожу (62% случаев), вторым по частоте являлось ингаляционное поступление (19% случаев), в 11% случаев было выявлено поверхностное загрязнение неповрежденной кожи, которое могло привести к переходу радионуклидов в кровеносное русло (таблица 2). У 3-х работников, являвшихся участниками одной АНС, ингаляционное поступление радионуклидов сочеталось с поверхностным загрязнением неповрежденной кожи.

Важно отметить, что в 8 случаях (13% АНС) факт аварийного поступления радионуклидов в организм работников был обнаружен ретроспективно в процессе планового дозиметрического контроля, осуществлявшегося в ЛДВО. Из них только в 3-х случаях удалось предположительно определить дату поступления. Большинство ретроспективно выявленных случаев было связано с микротравмами кожи пальцев рук, у одного работника предполагалось ингаляционное поступление и еще в одном случае путь поступления радионуклидов не был установлен. Кроме того, в процессе планового дозиметрического контроля в ЛДВО был выявлен случай сознательного загрязнения работником пробы мочи альфа-активными нуклидами с целью получения социальных льгот.

Таблица 2.

Пути поступления радионуклидов в организм участников аварийных/нештатных ситуаций

Путь поступления	Число аварийных ситуаций	Число участников
Через неповрежденную кожу (поверхностное)	7	7
Через поврежденную кожу	39	39

Ингаляционный	12	12
Ингаляционный и через неповрежденную кожу	1	3
Неустановленный путь	1	1
Загрязнение пробы мочи	1	1
Всего:	61	63*
Примечание: * – двое работников дважды являлись участниками аварийных ситуаций в 2010–2020 гг.		

Среди участников АНС было 52 (85%) мужчины и 9 (15%) женщины. Возраст работников на дату аварийного поступления радионуклидов находился в пределах от 22 до 64 лет и составлял в среднем $43,3 \pm 1,3$ года (медиана 45 лет). Большинство АНС (78%) произошли на плутониевом заводе, 17% АНС – на радиохимическом и 5% – на радиоизотопном заводах. В двух случаях участниками АНС стали работники из вспомогательных подразделений ПО «Маяк» (электрик и маляр), временно направленные на плутониевый завод.

Среди участников АНС преобладали слесари (30%) и токари (20%), за ними следовали аппаратчики (15%) и литейщики (15%), а также инженеры-технологи – 8%. В число представителей прочих профессий входили лаборанты, пробоотборщики, дезактиваторщики и другие. Продолжительность работы по специальности на дату АНС у ее участников варьировала от 5 месяцев до 45,5 лет и составляла в среднем $11,0 \pm 1,3$ лет (медиана 8,4 года). У 11% участников на дату аварийной ситуации стаж работы по специальности не превышал одного года, у 49% работников находился в пределах 2–10 лет и 40% работников трудились более 10 лет.

Участники АНС, у которых по данным измерений, выполненных дозиметрической службой ПО «Маяк», не исключалась возможность острого поступления радионуклидов в организм после санитарной обработки (дезактивация) направлялись на здравпункт предприятия для оказания необходимой медицинской помощи (в том числе введение пентамина при поступлении альфа-активных нуклидов). Далее осуществлялась транспортировка участников АНС в ЛДВО, где проводился специальный дозиметрический контроль с целью подтверждения факта поступления радионуклидов, а также предварительной оценки величины этого поступления и ОЭД. На основании результатов дозиметрического обследования в ЛДВО уточнялось решение о необходимости внеочередного ПМО в условиях ЦПРП, а также показания к проведению декорпорационной терапии.

Временной интервал между АНС и поступлением в ЦПРП у 56% работников не превышал 3-х часов, но в 12% случаев был более 5 часов (рисунок 1) и у одного из работников достигал 22 часов. Ситуации, связанные с увеличением сроков направления участников АНС на специальный дозиметрический контроль в ЛДВО и ЦПРП, требуют тщательного анализа, т.к. для предотвращения/минимизации негативных эффектов на здоровье при поступлении радионуклидов ключевое значение имеет раннее начало декорпорационной терапии. Кроме этого, в отдельных случаях в сопроводительной документации участников АНС не было отражено время проведения дозиметрического контроля на предприятии и введения 5% раствора пентацина на здравпункте.

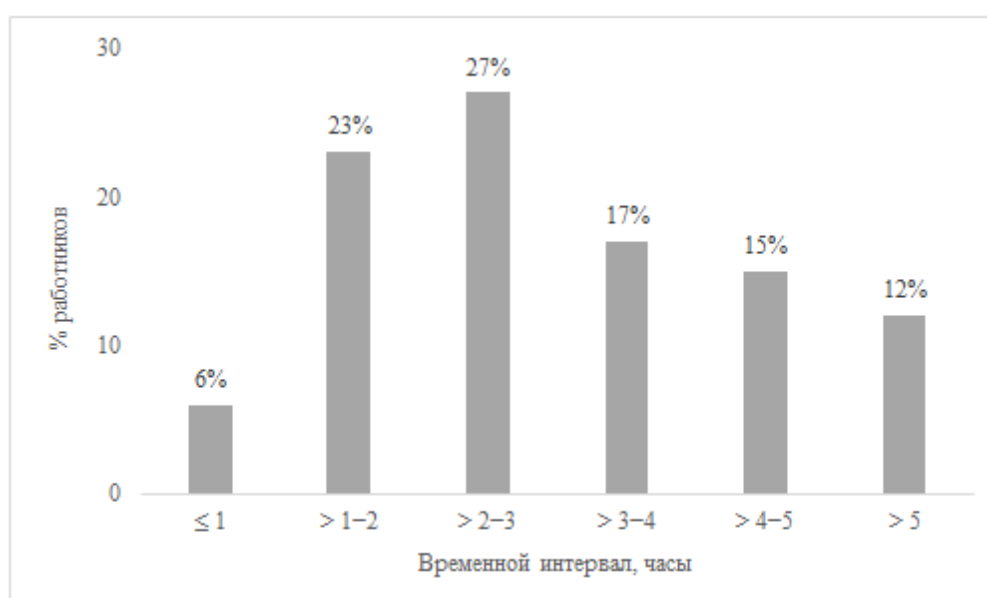


Рисунок 1 - Распределение участников аварийных/нештатных ситуаций по срокам поступления на медицинское обследование и лечение

Продолжительность обследования и лечения в условиях ЦПРП, а также сроки временной утраты трудоспособности участников аварийных ситуаций находились в пределах от 2 дней до 2,5 месяцев (круглосуточный стационар и амбулаторное наблюдение) и сильно отличались у отдельных работников (рисунок 2). Средняя продолжительность обследования и лечения в ЦПРП составила $14,4 \pm 1,7$ дней (медиана 10 дней). Продолжительность специального дозиметрического обследования в ЛДВО варьировала от 2 дней до 12 месяцев, в среднем составляла $91,2 \pm 10,7$ дней (медиана 60 дней) (рисунок 3).

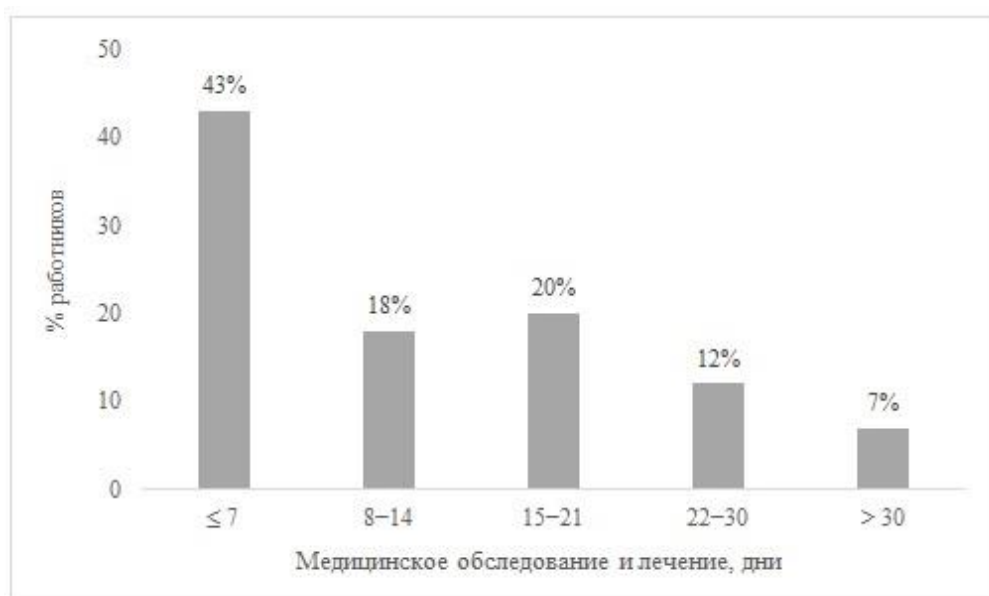


Рисунок 2 – Распределение участников аварийных/нештатных по продолжительности медицинского обследования и лечения

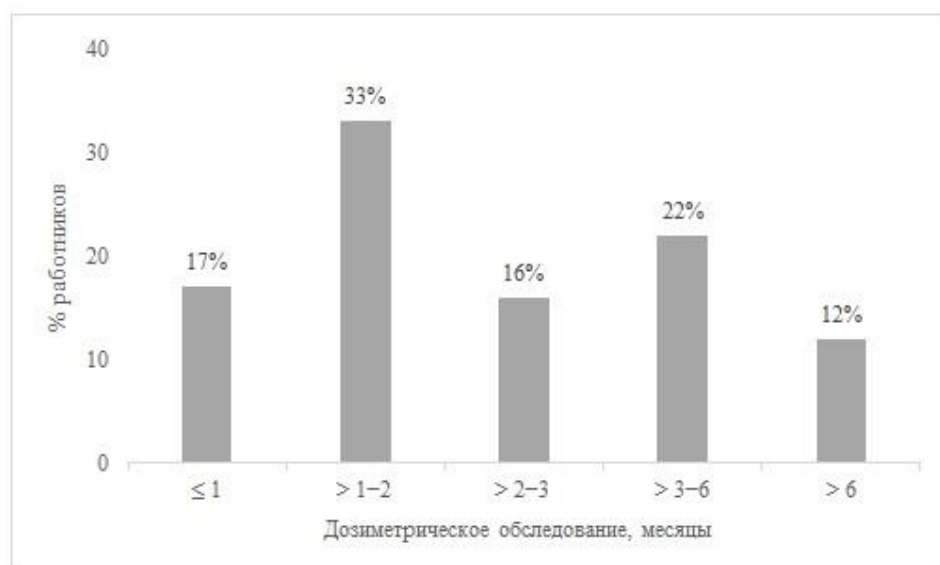


Рисунок 3 - Распределение участников аварийных/нештатных ситуаций по продолжительности специального дозиметрического обследования

Следует отметить, что для троих участников одной из АНС были получены лишь ориентировочные оценки доз облучения, на основании которых работники выведены из условий профессионального контакта с источниками ионизирующих излучений. В связи с особым составом радионуклидов, поступивших в организм этих работников в результате АНС, для корректной оценки доз облучения требуется разработка специальной дозиметрической модели и продолжительный дозиметрический контроль.

После завершения внеочередного медико-дозиметрического обследования участников АНС проводилась экспертиза профессиональной пригодности [17]. На основании данных дозиметрического контроля в отношении 4-х участников аварийных ситуаций было принято решение о невозможности продолжения работы в контакте с источниками ионизирующих излучений в связи с превышением пределов ОЭД, регламентируемых НРБ-99/2009 [2], еще у одного работника были выявлены медицинские противопоказания к труду [15], не связанные с участием в АНС. У остальных участников АНС не обнаружено ограничений профессиональной пригодности, но в отношении 2-х работников установлен тщательный дозиметрический контроль по индивидуальным планам для исключения возможности превышения пределов профессионального облучения в дальнейшем.

По состоянию на 31.12.2021 г. возраст участников АНС находился в пределах от 24 до 69 лет (среднем $47,1 \pm 1,6$ года; медиана 48 лет), продолжительность медицинского наблюдения после АНС составляла 1–5 лет у 60% участников, от 5 до 10 лет – у 40% участников. В отдаленном периоде АНС (на 31.12.2021 г.) в структуре хронической заболеваемости участников преобладали болезни нервной системы и органов чувств (22%), а также болезни костно-мышечной системы (21%), второе-третье ранговые места занимали болезни органов пищеварения (13%) и болезни системы кровообращения (12%). Только у одного работника спустя 5 лет после АНС было выявлено злокачественное новообразование – базальноклеточный рак кожи. В период до 31.12.2021 г. умерли 4 участника АНС в возрасте от 32 до 52 лет. Во всех случаях смерть наступила от внешних причин.

Заключение. Большинство АНС на ПО «Маяк» в 2010–2020 гг. было связано с воздействием на работников альфа-активных нуклидов – плутония и америция, которые представляют значительную опасность для здоровья, т.к. способны длительное время задерживаться в организме. Для существенного снижения числа АНС на ПО «Маяк» первостепенное значение имеет профилактика травм кожи рук работников. Повышение надежности текущего дозиметрического контроля, осуществляемого на предприятии по окончании смены, является важным условием для уменьшения числа случаев поступления радионуклидов, выявляемых ретроспективно, когда мероприятия по декорпорации менее эффективны. Для своевременного начала декорпорационной терапии необходимо сокращение сроков поступления участников АНС на медико-дозиметрическое обследование в ЛДВО и ЦПРП. Разъяснительная работа о потенциальном вреде, связанном с аварийным поступлением радионуклидов в организм, может способствовать повышению приверженности работников к неукоснительному соблюдению правил техники безопасности и снижению производственного травматизма.

Список литературы

1. Кузнецов В.М. Производственное объединение «Маяк» (Челябинск-65). История объединения. Основные производства. Хранение радиоактивных отходов и отработавшего ядерного топлива. В кн.: Кузнецов В.М., Назаров А.Г. *Радиационное наследие холодной войны*. М.: Ключ-С; 2006.
2. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): санитарные правила и нормативы СанПин 2.6.1.2523-09: утв. постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 07 июля 2009 г. № 47. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора; 2009.
3. Соколова А.Б., Ефимов А.В. Современное состояние системы дозиметрического сопровождения случаев острого поступления актинидов у работников ПО «Маяк». *Вопросы радиационной безопасности*. 2018; 3: 56–64.
4. Молоканов А.А., Яценко В.Н., Кухта Б.А. и др. Расследование аварийного случая с нетипичным поступлением плутония и америция-241 в организм работника. *Медицина катастроф*. 2014; 1(85): 10–11.
5. Dumit S., Miller G., Poudel D. et al. Chelation Model Validation: Modeling of a Plutonium-238 Inhalation Incident Treated with DTPA at Los Alamos National Laboratory. *Health Phys.* 2023; 124(2): 113–124.
6. Poudel D., Klumpp J.A., Bertelli L. et al. Dose assessment following a ²³⁸Pu-contaminated wound case with chelation and excision. *Health Phys.* 2020; 119(6): 690–703.
7. Власенко А.Н., Цепкова Г.А., Халимов Ю.Ш. и др. Профессиональные заболевания, связанные с внутренним радиоактивным заражением. *Вестник российской военно-медицинской академии*. 2019; 4 (68): 222–227.
8. Sychugov G., Azizova T., Osovets S. et al. Morphological features of pulmonary fibrosis in workers occupationally exposed to alpha radiation. *Int J Radiat Biol.* 2020; 96(4): 448–460.
9. Tirmarche M., Apostoaei I., Blanchardon E. et al. Cancer Risks from Plutonium and Uranium Exposure. *Ann ICRP.* 2021; 50(4): 1–143.
10. Richardson D.B., Cardis E., Daniels R.D. et al. Risk of cancer from occupational exposure to ionising radiation: retrospective cohort study of workers in France, the United Kingdom, and the United States (INWORKS). *BMJ.* 2015; 351: h5359.
11. International Atomic Energy Agency. *Medical Management of Persons Internally Contaminated with Radionuclides in a Nuclear or Radiological Emergency*. IAEA: Vienna; 2018.

12. Гладких В.Д., Белых В.Г., Тимошевский А.А., Чиж И.М. Специальные средства медицинской противохимической и противорадиационной защиты: современное состояние и перспективы развития. *Военно-медицинский журнал*. 2018; 339(1): 29–36.

13. Gillies M., Kuznetsova I., Sokolnikov M. et al. Cancer risk from plutonium: a pooled analysis of the mayak and sellafeld worker cohorts. *Radiat Res*. 2017; 188(6): 645–660.

14. Azizova T.V., Bannikova M.V., Grigoryeva E.S. et al. Mortality from various diseases of the circulatory system in the Russian Mayak nuclear worker cohort: 1948-2018. *J Radiol Prot*. 2022; 42(2).

15. Приказ Минздрава России от 28.01.2021 N 29н "Об утверждении Порядка проведения обязательных предварительных и периодических медицинских осмотров работников, предусмотренных частью четвертой статьи 213 Трудового кодекса Российской Федерации, перечня медицинских противопоказаний к осуществлению работ с вредными и (или) опасными производственными факторами, а также работам, при выполнении которых проводятся обязательные предварительные и периодические медицинские осмотры" (Зарегистрировано в Минюсте России 29.01.2021 N 62277). Доступно на: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202101290043>

16. Zar J.H. Biostatistical Analysis. New Jersey: Prentice Hall; 1999.

17. Приказ Министерства здравоохранения Российской Федерации от 05.05.2016 № 282н "Об утверждении Порядка проведения экспертизы профессиональной пригодности и формы медицинского заключения о пригодности или непригодности к выполнению отдельных видов работ" (Зарегистрирован 02.06.2016 № 42397). Доступно на: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201606060010>