

Научная статья

УДК 621.039; DOI: 10.61260/1998-8990-2023-3-181-188

О ВОЗМОЖНОЙ РАДИАЦИОННОЙ АВАРИИ НА АТОМНОМ ЛЕДОКОЛЕ И ОРГАНИЗАЦИИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ СПАСАТЕЛЕЙ МЧС РОССИИ ПРИ ЛИКВИДАЦИИ ЕЕ ПОСЛЕДСТВИЙ

✉ Савчук Олег Николаевич;

Крейтор Владимир Петрович;

Троянов Олег Михайлович.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия

✉ oleg-savcuk@mail.ru

Аннотация. На основе анализа наличия радиационно опасных объектов в регионах Арктики Российской Федерации рассматривается проблема по обеспечению экологической безопасности в связи с утилизацией отработанного ядерного топлива атомных ледоколов. В связи с ростом количества российских атомных ледоколов в Арктике, специфики их использования, условий хранения накапливающихся радиоактивных отходов на обслуживающих их судах возникает опасность аварий при погрузочно-разгрузочных работах с отработанным ядерным топливом. Рассматривается гипотетическая модель аварии с разгерметизацией контейнера с твердыми радиоактивными отходами, и приводятся рекомендации по организации радиационной разведки и обеспечению безопасности личного состава ГПС МЧС России, принимающего участие в ликвидации последствий радиационного загрязнения, уделяется внимание специфике проведения дезактивации.

Ключевые слова: экологическая безопасность, радиоактивные отходы, твердые радиоактивные отходы, радиационное загрязнение, дезактивация

Для цитирования: Савчук О.Н., Крейтор В.П., Троянов О.М. О возможной радиационной аварии на атомном ледоколе и организации обеспечения безопасности спасателей МЧС России при ликвидации ее последствий // Проблемы управления рисками в техносфере. 2023. № 3 (67). С. 181–188. DOI: 10.61260/1998-8990-2023-3-181-188.

Scientific article

ON A POSSIBLE RADIATION ACCIDENT ON A NUCLEAR-POWERED ICEBREAKER AND ORGANIZATION OF SAFETY OF RESCUERS OF EMERCOM OF RUSSIA DURING LIQUIDATION OF ITS CONSEQUENCES

✉ Savchuk Oleg N.;

Kreytor Vladimir P.;

Trojanov Oleg M.

Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia

✉ oleg-savcuk@mail.ru

Abstract. Based on the analysis of the presence of radiation hazardous facilities in the Arctic regions of the Russian Federation, the problem of ensuring environmental safety in connection with the disposal of spent nuclear fuel of nuclear icebreakers is considered. Due to the growing number of Russian nuclear icebreakers in the Arctic, the specifics of their use, storage conditions for accumulating radioactive waste on ships serving them, there is a risk of accidents during loading and unloading operations with spent nuclear fuel. A hypothetical model of an accident with

© Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2023

the depressurization of a container with solid radioactive waste is considered, and recommendations are given on the organization of radiation reconnaissance and ensuring the safety of personnel of EMERCOM of Russia participating in the elimination of the consequences of radiation pollution, attention is paid to the specifics of decontamination.

Keywords: environmental safety, radioactive waste, solid radioactive waste, radiation pollution, decontamination

For citation: Savchuk O.N., Kreytor V.P., Troyanov O.M. On a possible radiation accident on a nuclear-powered icebreaker and organization of safety of rescuers of EMERCOM of Russia during liquidation of its consequences // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2023. № 3 (67). P. 181–188. DOI: 10.61260/1998-8990-2023-3-181-188.

Введение

В настоящее время актуальна проблема по обеспечению экологической безопасности в регионах Арктической зоны Российской Федерации в связи с большим наличием радиационно опасных объектов и, прежде всего, атомных подводных лодок (АПЛ), увеличением числа атомных ледоколов, судов технологического обслуживания, содержащих ядерное топливо и радиоактивные отходы, а также хранилищ временного отстоя отработанного ядерного топлива (ОЯТ) этих объектов, расположенных по побережью Кольского полуострова [1].

Одним из стратегических направлений, намеченных в освоении Арктики, протяженность береговой линии которой составляет около 20 тыс. км, является увеличение количества атомных ледоколов для прохода судов по Северному морскому пути. В стадии строительства атомные ледоколы «Урал», «Якутия», «Чукотка», в перспективе строительство мощных атомных ледоколов типа «Лидер» [2]. Наглядным примером этого является спуск на воду в конце 2022 г. атомного ледокола «Якутия», который пополнит действующий атомный ледокольный флот России до семи судов (табл. 1).

Таблица 1

Действующий атомный ледокольный флот России с планируемым сроком эксплуатации

| Наименование ледокола | Год ввода в эксплуатацию | Планируемый вывод из эксплуатации | Тип ядерной энергетической установки |
|-----------------------|--------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|
| Арктика | 2020 | 2060 | РУ РИТМ-200 |
| Сибирь | 2021 | 2061 | РУ РИТМ-200 |
| Советский Союз | 1989 | 2029 | РУ РИТМ-200 |
| Ямал | 1993 | 2023 | РУ РИТМ-200 |
| 50 лет Победы | 2007 | 2040 | РУ РИТМ-200 |
| Севморпуть | 1998 | 2028 | РУ РИТМ-200 |

Внешний вид одного из перечисленных действующих атомных ледоколов представлен на рисунке.



Рис. Атомный ледокол «50 лет ПОБЕДЫ» у причала при разгрузке

Цель статьи: на примере возможной аварии при разгрузке радиоактивных отходов (РАО) атомного ледокола наметить пути решения проблемы по обеспечению радиационной и экологической безопасности при обращении с РАО таких объектов [3].

Анализ возможных аварий с РАО на атомных ледоколах

В России ежегодно образуется от радиационно опасных объектов свыше 700 т высокоактивных твердых радиоактивных отходов (ТРО), из них 10 % ОЯТ приходится на транспортные средства, на которых установлены ядерные энергетические устройства (ЯЭУ), в том числе таких объектов, как АПЛ и атомные ледоколы.

Высокоактивные ТРО, относящиеся к первому классу, подлежат захоронению с предварительной выдержкой их в хранилищах временного отстоя ОЯТ, а затем отправляются, как правило, железнодорожным транспортом в основном для переработки на ПО «Маяк». К таким ТРО относятся отработавшие свой ресурс тепловыделяющие элементы (ТВЭЛы) тепловыделяющих сборок (ТВС) атомных реакторов судов. На современных атомных ледоколах установлены водо-водяные энергетические реакторы (ВВЭР) типа РИТМ-200, в перспективе на атомных ледоколах типа «Лидер» – РИТМ-400.

В случае разрушения защитной оболочки контейнера с ТРО атомных ледоколов возможно радиоактивное загрязнение местности с разбросом фрагментов ТВЭЛов высокой активности (около $4 \cdot 10^{10}$ Бк/кг) с мощностью дозы излучения отдельных частей, превышающих 100 рад/ч [4].

Радиоактивное загрязнение местности при разрушении защитной оболочки контейнера с ТРО атомных ледоколов в основном будет определяться такими радионуклидами, как: рутений-106 с активностью $9,2 \cdot 10^{13}$ Бк, стронций-90 с активностью $17,4 \cdot 10^3$ Бк, цезий-137 с активностью $24 \cdot 10^{13}$ Бк [4]. Крайне опасно пребывание на такой территории людей в связи с возможным получением ими поражающих доз излучения. Такая территория может на длительное время представлять опасность для людей и животных вследствие больших периодов полураспада таких радионуклидов, как цезий-137 и стронций-90. Возможные аварийные ситуации с разгерметизацией контейнеров с ТРО представлены в табл. 2.

Таблица 2

Возможные аварийные ситуации при обращении с ТРО

| Варианты при удалении ТРО | |
|--|---|
| Варианты внешнего воздействия | Последствия аварии |
| Землетрясение, ураган, смерч | Нарушение работы механизмов при перемещении ТРО и погрузочно-разгрузочных работ, приводящих к разрушению защитной оболочки контейнера |
| Пожар | При температуре >1 300 °С возможно разрушение контейнера [5] с выбросом высокоактивных радионуклидов |
| Ошибки персонала при погрузочно-разгрузочных работах | Разрушение контейнера от падения с разбросом фрагментов твэлов |
| Технические неисправности погрузочно-разгрузочных механизмов | Разрушение контейнера от падения с разбросом фрагментов твэлов |
| Аварии при транспортировке | Разрушение контейнера с разбросом высокоактивных фрагментов |
| Нанесение ударов высокоточным оружием | Разрушение контейнера с разбросом высокоактивных фрагментов |

В связи с этим актуально рассмотрение аварийных случаев с разгерметизацией контейнеров с ОЯТ как на стадии консервации, погрузочно-разгрузочных работ и их перевозке, решение проблем обеспечения радиационной и экологической безопасности при обращении с РАО таких объектов.

Например, рассмотрим последствия разгерметизации контейнера в результате падения транспортного упаковочного комплекта (ТУК) с выбросом радиоактивных веществ в результате технической неисправности погрузочно-разгрузочных механизмов при выгрузке его с судна обеспечения атомного ледокола, стоящего у пирса. Так, например, ТУК-120 для хранения и транспортировки неперерабатываемого облученного ядерного топлива атомных ледоколов может содержать от 8 до 14 т высокоактивных отходов.

В результате такого падения ТУК, предположим, произошла разгерметизация контейнера с последующим радиоактивным загрязнением пирса и борта судна и возникновением пожара. Представляет интерес рассмотрения организации радиационной разведки по установлению границ участка радиационного загрязнения и ликвидации последствий такой аварии силами ГПС МЧС России с учетом обеспечения радиационной безопасности личного состава.

Следует отметить, что возникают трудности прогнозирования последствий таких аварий вследствие невозможности определения масштабов достоверного разброса и рассеяния радиоактивных веществ при разгерметизации контейнера с ТРО при падении на пирс. На масштаб разброса фрагментов ТРО и радиоактивных веществ, которые приведут к радиоактивному загрязнению пирса, будут влиять характер повреждения, размеры разгерметизации контейнера, зависящие от высоты падения, скорость и направление ветра. Поэтому гипотетически представим, что разброс отдельных высокоактивных радиоактивных фрагментов произошел на площади с радиусом 30 м.

Мощность дозы излучения фрагментов ТРО можно установить только путем организации замера их техническими средствами радиационной разведки. В связи с возможными высокими мощностями доз излучения отдельных фрагментов целесообразно это осуществить с помощью беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), оборудованных приборами радиационной разведки. На вооружении МЧС России в настоящее время находятся свыше 1 500 БПЛА вертолетного (мультироторного) типа. В целях оперативности получения данных радиационной разведки о мощности доз излучения разбросанных радиоактивных фрагментов и загрязнения пирса и борта судна целесообразно использование

БПЛА типа Inspire 1 [6] с установкой на его борту прибора ИМД-3 либо нового разработанного БПЛА типа Supercam для контроля радиационного фона в интересах Росгидромета. Тактико-технические характеристики приборов ИМД-3 и Supercam представлены в табл. 3.

Таблица 3

Тактико-технические характеристики приборов ИМД-3 и Supercam

| Тип БПЛА | Диапазон измерения мощности дозы излучения | Погрешность измерения, % | Масса целевой нагрузки, кг |
|------------------|--|--------------------------|----------------------------|
| Inspire 1(ИМД-3) | 0,1 мкЗв/ч – 10 Зв/ч | +/-10 | 0,85 |
| Supercam | 0,05 мкЗв/ч – 10 Зв/ч | +/-20 | 0,45 |

Предположим, что разброс наиболее высокоактивных фрагментов ТРО на пирсе был установлен воздушной разведкой БПЛА: № 1 – на расстоянии 15 м от борта судна с мощностью дозы излучения 160 р/ч и № 2 – на расстоянии 20 м с мощностью дозы излучения 100 р/ч.

Силами наземной разведки было установлено на удалении от фрагмента № 2 10 м: мощность дозы излучения 30 р/ч, № 1 – 10 м: мощность дозы излучения 50 р/ч.

Основными известными способами обеспечения безопасности при работе в очагах радиационного загрязнения с повышенными мощностями доз излучения в целях обеспечения радиационной безопасности личного состава подразделений ГПС МЧС России, принимающих участие в ликвидации радиационного загрязнения пирса в результате разброса высокоактивных фрагментов ТРО и тушения пожара на корабле, являются: защита расстоянием, сокращение времени пребывания в зоне радиационного загрязнения, использование экранов.

В связи с этим целесообразно определение безопасных рубежей удаления личного состава, участвующего в ликвидации аварии, от наиболее опасных участков радиоактивного загрязнения [7], а также допустимого времени пребывания личного состава наземной разведки на рубежах обнаружения мощности дозы излучения с учетом получения ими установленных допустимых доз облучения [8] и определения безопасного в радиационном отношении коридора в зоне радиоактивного загрязнения для выдвижения сил ГПС МЧС России для выполнения задач по тушению пожара на судне.

Рассчитаем безопасные рубежи удаления $L_{без}$ от фрагментов № 1 и № 2 согласно формуле [9]:

$$L_{без}=L \sqrt{\frac{2P_L \cdot T}{D_{доп} \cdot K_{осл}}},$$

где P_L – мощность дозы излучения на расстоянии L (м) от источника излучения; T – время облучения, 0,5 ч; $D_{доп}$ – допустимая доза облучения 5 рад; $K_{осл}$ – коэффициент ослабления равен 1.

Безопасное удаление от фрагмента ТРО № 1 составит 31,6 м, от фрагмента № 2 – соответственно 24,5 м.

С учетом установленной дозы облучения можно определить допустимое время пребывания личного состава наземной разведки в зоне радиационного загрязнения на рубежах определения мощности дозы излучения по формуле:

$$T_{доп}=\frac{D_{доп} \cdot K_{осл}}{2 \cdot P_L}. \quad (1)$$

Допустимое время пребывания личного состава наземной разведки в зоне радиационного загрязнения согласно формуле (1) на рубежах замера мощности дозы излучения от фрагмента № 1 составит 3 мин, от фрагмента № 2 – 5 мин.

Используя картографическое расположение фрагментов ТРО и их мощностей доз излучения, а также данных наземной разведки, можно наметить безопасный в радиационном отношении коридор в зоне радиоактивного загрязнения для выдвижения сил ГПС МЧС России для выполнения задач по тушению пожара на судне.

В целях ликвидации радиационного загрязнения и сбора высокоактивных фрагментов ТРО целесообразно привлечь роботизированные средства с дистанционным управлением, состоящие на вооружении подразделений МЧС России, такие как: мобильный РТК Teodor, позволяющий перемещать груз до 100 кг, и многофункциональный робот МРК-35, перемещающий груз до 40 кг [10].

Проблемным в решении обеззараживания пирса и борта судна будет проведение дезактивации с точки зрения обеспечения экологической безопасности. Простой смыв с пирса и борта судна радиоактивных веществ приведет к радиоактивному загрязнению акватории порта. Поэтому, на взгляд авторов, дезактивацию пирса следует проводить путем сбора крупных фрагментов ТРО с помощью роботизированной техники, а мелких радиоактивных частиц – путем сбора по принципу пылесоса.

Дезактивацию борта судна в целях обеспечения экологической безопасности акватории порта целесообразно осуществить в нейтральных водах путем смыва радионуклидов с борта струями воды под давлением с привлечением пожарного катера МЧС России. Это не приведет к радиоактивному загрязнению океана вследствие незначительной площади загрязнения борта. Примером может служить прецедент с вынужденным проливом более значительных объемов радиоактивно загрязненной воды в океан при аварии на АЭС Фукусима (Япония) [11].

Заключение

Увеличение количества российских атомных ледоколов в Арктике, специфика их использования, условий хранения накапливающихся РАО на обслуживающих их судах требуют тщательной разработки методик прогноза возможных аварий с ТРО и организации ликвидации их последствий с учетом обеспечения безопасности личного состава ГПС МЧС России, привлекаемого в этих случаях для тушения пожара на таких судах. Одним из эффективных способов обеспечения безопасности личного состава ГПС МЧС России предлагается расчет безопасного удаления личного состава от участков загрязнения высокоактивными фрагментами ТРО, разбросанными в результате разгерметизации контейнера с ТРО. Прогнозирование аварий с разгерметизацией контейнера ТРО представляет трудности вследствие неопределенности характера разрушения, количества разброса радиоактивных веществ, площади загрязнения. В целях исключения подобных аварий при проведении разгрузочно-погрузочных работ следует тщательно готовить и проверять техническое состояние всех механизмов, участвующих в этом процессе, исключить «человеческий фактор» как причину аварии. Для решения проблемного вопроса обеззараживания пирса с целью обеспечения экологической безопасности целесообразна разработка технических средств дезактивации на принципе действия пылесоса с дистанционным управлением.

Список источников

1. Саркисов А.А. К вопросу о ликвидации радиоактивных загрязнений Арктического региона // Вестник Российской академии наук. 2019. Т. 89. № 2. С. 107–124.
2. Акатов А., Коряковский Ю. Атомный ключ к Арктике // Инженерная защита. 2015. Вып. 9.

3. Introduction to DOE Environmental Liabilities, May 2013. URL: www.energy.gov/sites/prod/files/2013/.../Environmental-Liability-101-2013.pdf (дата обращения: 11.06.2023).

4. Методические рекомендации по ликвидации радиационных аварий. М.: ГУ МЧС Магаданской обл., 2020.

5. Ведерникова М.В. Метод комплексного обеспечения безопасности и экологического приема пунктов хранения радиационной опасности на завершающей стадии жизненного цикла: дис. ... канд. техн. наук. М.: Ин-т проблем безопасности развития атомной энергетики РАН, 2016.

6. Кишалов А.Е., Галимзянова Р.Р. Применение БПЛА в задачах подразделений МЧС // Молодой вестник УГАТУ. 2015. № 1 (13).

7. Устав аварийно-спасательных формирований по организации и ведению газоспасательных работ (утв. зам. министра промышленности, науки и технологий от 5 июня 2003 г.). Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

8. СП 2.6.6.1168–02. Санитарные правила обращения с радиоактивными отходами (СПОРО-2002) (в ред. от 23 дек. 2010 г. № 167). М.: Минздрав России, 2002.

9. Савчук О.Н. Методика выявления последствий в ЧС мирного и военного времени. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2010.

10. Робототехнические комплексы (РТК): основные модели, описание и ТТХ // Пожарная и инженерная техника. 2018. № 1.

11. Kryshev I.I., Kryshev A.I., Sazykina T.G. Dynamics of radiation exposure to marine biota in the area of the Fukushima NPP in March-May 2011 // Journal of environmental radioactivity. 2012. Vol. 114. P. 157–161.

References

1. Sarkisov A.A. K voprosu o likvidacii radioaktivnyh zagryaznenij Arkticheskogo regiona // Vestnik Rossijskoj akademii nauk. 2019. T. 89. № 2. S. 107–124.

2. Akatov A., Koryakovskij Yu. Atomnyj klyuch k Arktike // Inzhenernaya zashchita. 2015. Вып. 9.

3. Introduction to DOE Environmental Liabilities, May 2013. URL: www.energy.gov/sites/prod/files/2013/.../Environmental-Liability-101-2013.pdf (data obrashcheniya: 11.06.2023).

4. Metodicheskie rekomendacii po likvidacii radiacionnyh avarij. M.: GU MCHS Magadanskoj obl., 2020.

5. Vedernikova M.V. Metod kompleksnogo obespecheniya bezopasnosti i ekologicheskogo priema punktov hraneniya radiacionnoj opasnosti na zavershayushchej stadii zhiznennogo cikla: dis. ... kand. tekhn. nauk. M.: In-t problem bezopasnosti razvitiya atomnoj energetiki RAN, 2016.

6. Kishalov A.E., Galimzyanova R.R. Primenenie BPLA v zadachah podrazdelenij MCHS // Molodoj vestnik UGATU. 2015. № 1 (13).

7. Ustav avarijno-spasatel'nyh formirovanij po organizacii i vedeniyu gazospasatel'nyh работ (utv. zam. ministra promyshlennosti, nauki i tekhnologij ot 5 iyunya 2003 g.). Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy «Konsul'tantPlyus».

8. SP 2.6.6.1168–02. Sanitarnye pravila obrashcheniya s radioaktivnymi othodami (SPORO-2002) (v red. ot 23 dek. 2010 g. № 167). M.: Minzdrav Rossii, 2002.

9. Savchuk O.N. Metodika vyyavleniya posledstvij v CHS mirnogo i voennogo vremeni. SPb.: S.-Peterb. un-t GPS MCHS Rossii, 2010.

10. Robototekhnicheskie komplekсы (РТК): osnovnye modeli, opisaniye i ТТХ // Pozharnaya i inzhenernaya tekhnika. 2018. № 1.

11. Kryshev I.I., Kryshev A.I., Sazykina T.G. Dynamics of radiation exposure to marine biota in the area of the Fukushima NPP in March-May 2011 // Journal of environmental radioactivity. 2012. Vol. 114. P. 157–161.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 13.05.2023; одобрена после рецензирования: 07.09.2023;
принята к публикации: 14.09.2023

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 13.05.2023; approved after review: 07.09.2023;
accepted for publication: 14.09.2023

Информация об авторах:

Савчук Олег Николаевич, профессор кафедры сервис безопасности Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат технических наук, профессор, заслуженный работник высшей школы Российской Федерации, e-mail: sb@igps.ru, oleg-savcuk@mail.ru, SPIN-код: 5156-1928

Крейтор Владимир Петрович, заведующий кафедрой сервис безопасности Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат технических наук, профессор, e-mail: kreitor.v@igps.ru, SPIN-код: 4494-5096

Троянов Олег Михайлович, доцент кафедры сервис безопасности Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат военных наук, доцент, e-mail: sb@igps.ru; troyanovo@igps.ru, SPIN-код: 7467-5841

Information about the authors:

Savchuk Oleg N., professor of the department of security service of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), candidate of technical sciences, professor, honored worker of the higher school of the Russian Federation, e-mail: sb@igps.ru, oleg-savcuk@mail.ru, SPIN: 5156-1928

Kreitor Vladimir P., head of the department of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), candidate of technical sciences, professor, e-mail: kreitor.v@igps.ru, SPIN: 4494-5096

Trojanov Oleg M., associate professor of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), candidate of military sciences, associate professor, e-mail: sb@igps.ru; troyanovo@igps.ru, SPIN: 7467-5841