

Радиационная обстановка на рабочих местах персонала при обращении с радиоактивными отходами на предприятиях атомного судостроения и судоремонта

Арефьева Д.В., Грабский Ю.В., Балтрукова Т.Б., Петушок А.В.

Научно-исследовательский институт промышленной и морской медицины
Федерального медико-биологического агентства, Санкт-Петербург, Россия

Актуальность исследования обусловлена активным развитием судостроительной отрасли России, в том числе предприятий атомного судостроения и судоремонта, на которых образуются радиоактивные отходы. Рост объемов работ с радиоактивными отходами повышает риск увеличения доз облучения персонала, что требует комплексной оценки радиационной обстановки и совершенствования системы радиационного контроля. Цель работы — оценить радиационную обстановку на рабочих местах персонала при обращении с радиоактивными отходами и определить приоритетные направления улучшения системы радиационного контроля. Материалы и методы: Оценка состояния радиационной обстановки выполнена на основе материалов производственного контроля предприятия и данных натурных исследований. Измерения параметров проводились по аттестованным методикам выполнения измерений. Все используемые средства измерений проходили метрологический контроль в установленные сроки. Результаты исследования и обсуждение: Результаты показали, что основные радиационные факторы, определяющие условия труда персонала — внешнее гамма-излучение и радиоактивное загрязнение рабочих поверхностей бета-излучающими радионуклидами (фиксированное и снимаемое). Установлено неравномерное распределение дозовых нагрузок на организм при выполнении различных этапов работ по обращению с радиоактивными отходами. На рабочих местах участков по переработке жидких и твердых радиоактивных отходов уровни гамма-излучения превышают уровни излучения на других рабочих местах, однако средние значения индивидуальных доз облучения персонала не превышают предела доз для персонала и имеют тенденцию к снижению, как по отдельным категориям персонала, так и по всему предприятию в целом. Заключение: В заключении подтверждается эффективность действующих мер радиационной безопасности и определены приоритетные направления совершенствования системы радиационного контроля на предприятии.

Ключевые слова: дозы облучения, предприятия атомного судостроения и судоремонта, радиоактивные отходы, условия труда, радиационная безопасность, радиационный контроль.

Введение

Судостроительная промышленность обладает значительным научно-техническим и производственным потенциалом, который позволяет ей вносить существенный вклад в развитие технологий в смежных отраслях и обеспечивать национальную безопасность Российской Федерации в различных аспектах морской деятельности, включая оборону, транспорт, продовольственное снабжение, энергетику и технологические инновации^{1,2} [1]. В соответствии со Стра-

тегией развития судостроительной промышленности на период до 2035 года³ организации отрасли ежегодно увеличивают объемы производства. Целевым показателем является увеличение объемов производства к 2035 году в 2,2 раза по сравнению с 2019 годом.

В технологическом процессе предприятий атомного судостроения и судоремонта образуются радиоактивные отходы (РАО), что отличает их от других предприятий судостроительной отрасли [2–4]. Наблюдающийся в последние годы рост объема строительства и ремонта атомных морских объектов

¹Постановление Правительства Российской Федерации от 31.03.2017 № 374 «Об утверждении государственной программы Российской Федерации «Развитие судостроения и техники для освоения шельфовых месторождений на 2013 - 2030 годы» [Decree of the Government of the Russian Federation No. 374 dated March 31, 2017, "On Approval of the State Program of the Russian Federation 'Development of Shipbuilding and Technology for the Development of Offshore Fields for 2013-2030' (In Russ.)]

²Распоряжение Правительства Российской Федерации от 28.10.2019 № 2553-р «Об утверждении Стратегии развития судостроительной промышленности на период до 2035 года» [Order of the Government of the Russian Federation № 2553-r dated 28 October 2019 "On Approval of the Strategy for the Development of the Shipbuilding Industry for the Period up to 2035" (In Russ.)]

³Распоряжение Правительства Российской Федерации от 28 октября 2019 г. № 2553-р «Об утверждении Стратегии развития судостроительной промышленности на период до 2035 года» [Order of the Government of the Russian Federation dated October 28, 2019, № 2553-r "On Approval of the Strategy for the Development of the Shipbuilding Industry for the Period up to 2035" (In Russ.)]

Арефьева Дарья Владимировна

Научно-исследовательский институт промышленной и морской медицины

Адрес для переписки: 196143, Россия, Санкт-Петербург, проспект Юрия Гагарина, д. 65; E-mail: lab1niipmm@yandex.ru

приводит к увеличению работ с РАО, что создает риск повышения доз облучения персонала при выполнении данных работ.

Согласно Указу Президента Российской Федерации от 13 октября 2018 г. № 585⁴, одной из задач ядерной и радиационной безопасности является защита персонала, населения и окружающей среды от радиационного воздействия и минимизация индивидуальных доз облучения при эксплуатации источников ионизирующего излучения. Для решения данной задачи необходимо постоянно совершенствовать меры по обеспечению радиационной безопасности персонала [5–7]. Однако для повышения их эффективности требуется изучение качественных и количественных характеристик производственных факторов, негативно влияющих на здоровье персонала.

С начала 2000-х годов активно проводились работы по утилизации атомных подводных лодок, кораблей с ядерной энергетической установкой, а также судов атомного технологического обслуживания на предприятиях атомного судостроения и судоремонта. Данные работы сопровождались научными исследованиями по гигиенической оценке условий труда [8–12]. На основе полученных материалов были разработаны мероприятия, направленные на сохранение здоровья и профессиональное долголетие указанных работников [13, 14]. Также в публикациях представлены результаты гигиенической оценки условий труда персонала предприятий атомного судостроения и судоремонта при обращении с РАО [15–17].

Научная новизна данной работы заключается в комплексной оценке радиационной обстановки на предприятиях атомного судостроения и судоремонта при обращении с РАО. Проведён детализированный анализ радиационных факторов на всех этапах работ (переработка жидких и твёрдых РАО, хранение, сжигание низкоактивных отходов) с учётом пространственного распределения мощности дозы гамма-излучения на разных высотах от пола.

Цель исследования – оценка радиационной обстановки на рабочих местах персонала предприятий атомного судостроения и судоремонта при обращении с РАО для выявления приоритетных направлений совершенствования системы радиационного контроля.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи, которые заключались в определении особенностей формирования: радиационной обстановки на рабочих местах персонала, индивидуальных эффективных доз облучения персонала.

Материалы и методы

Исследования выполнены на крупнейшем предприятии атомного судостроения и судоремонта, осуществляющим

полный цикл работ по обращению с РАО.

Объект исследования – условия труда персонала, выполняющего работы по обращению с РАО; предмет исследования – радиационная обстановка на рабочих местах.

Для анализа особенностей формирования радиационной обстановки на рабочих местах персонала использованы как результаты собственных исследований, так и данные производственного контроля, предоставленные отделом ядерной и радиационной безопасности предприятия.

Проанализированы результаты ежемесячного производственного контроля радиационной обстановки за период 2017 – 2022 гг. и данные нарядов-допусков на проведение радиационно опасных работ по обращению с РАО за 2020 – 2022 гг.

На рабочих местах персонала исследованы: мощность AMBIENTного эквивалента дозы (МАЭД) гамма-излучения, уровни загрязнения рабочих поверхностей альфа- и бета-излучающими радионуклидами. В точках, где были зарегистрированы повышенные уровни загрязнения поверхностей радиоактивными веществами, также проводили отбор проб снимаемого радиоактивного загрязнения.

Для оценки особенностей формирования радиационной обстановки при выполнении работ по обращению с РАО измерения МАЭД проведены на следующих высотах от пола: 30 см, 80 см, 120 см и 160 см с использованием спектрометра МКС-АТ6102А (НПУП «АТОМТЕХ», Республика Беларусь) в соответствии с требованиями руководства по эксплуатации на прибор и Методическими указаниями МУ 2.6.5.008-2016 «Контроль радиационной обстановки. Общие требования»⁵.

Оценка уровней загрязнения рабочих поверхностей альфа- и бета-излучающими радионуклидами проведена на основе измерений плотности потока альфа- и бета-частиц с использованием дозиметра-радиометра МКС-АТ1117М в соответствии с требованиями руководства по эксплуатации на прибор, МУ 2.6.5.032-2017 «Контроль радиоактивного загрязнения поверхностей»⁶ и Методикой измерений удельной активности гамма- и бета-излучающих радионуклидов в жидких, сыпучих и твердых пробах с применением спектрометра-радиометра МКГБ-01 «РАДЭК»⁷.

Расширенную относительную неопределенность ($k=2$) измерений принимали равной относительной погрешности средства измерения в предположении нормального распределения показаний.

Отбор проб снимаемого радиоактивного загрязнения поверхностей и их последующее измерение выполняли согласно методике измерений снимаемой поверхностной активности альфа- и бета-излучающих радионуклидов с ис-

⁴Указ Президента Российской Федерации от 13 октября 2018 г. № 585 «Об утверждении Основ государственной политики в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности Российской Федерации на период до 2025 года и дальнейшую перспективу» [Decree of the President of the Russian Federation dated October 13, 2018, № 585 "On Approval of the Fundamentals of State Policy in the Field of Nuclear and Radiation Safety of the Russian Federation for the Period up to 2025 and Beyond". (In Russ.)]

⁵Методические указания МУ 2.6.5.008-2016 «Контроль радиационной обстановки. Общие требования». М.: ФМБА России, 2016. 35 с. [Methodological Guidelines MU 2.6.5.008-2016 "Radiation Monitoring. General Requirements", Moscow, FMBA of Russia, 2016, 35 p. (In Russ.)]

⁶Методические указания МУ 2.6.5.032-2017 «Контроль радиоактивного загрязнения поверхностей». М.: ФМБА России, 2017. 62 с. [Methodological Guidelines MU 2.6.5.032-2017 "Monitoring of Radioactive Surface Contamination". Moscow: FMBA of Russia; 2017. 62 p. (In Russ.)]

⁷Методика измерений удельной активности гамма- и бета-излучающих радионуклидов в жидких, сыпучих и твердых пробах с применением спектрометра-радиометра МКГБ-01 «РАДЭК» (свидетельство об аттестации методики измерений № 678/210-(01.00250)-2015) [Method for measuring the specific activity of gamma- and beta-emitting radionuclides in liquid, bulk, and solid samples using the MKGB-01 RADEC spectrometer-radiometer (Certificate of Attestation of the Measurement Method № 678/210-(01.00250)-2015). (In Russ.)]

пользованием носимого радиометра, устройства для отбора мазков УОМ-01Т и приспособления для измерения активности радионуклидов в фиксированной геометрии УИМ-01Т (НИИ ПММ, Россия) в соответствии с Методикой измерений снимаемой поверхностной активности альфа- и бета-излучающих радионуклидов (свидетельство об аттестации методики измерений № 451/210-(01.00250-2008)-2013)⁸, расчет неопределённости измерений проводился по методике выполнения измерений.

Индивидуальные эффективные дозы облучения персонала предприятия проанализированы по материалам, содержащимся в форме № 1-ДОЗ «Сведения о дозах облучения лиц из персонала в условиях нормальной эксплуатации организациями техногенных источников ионизирующих излучений» за 2017-2022 гг.

Результаты и обсуждение

Для выполнения работ с РАО на предприятии эксплуатируется цех, включающий в себя следующую основную инфраструктуру:

- комплекс по переработке жидких и твердых радиоактивных отходов;
- спецпрачечная;
- участок сжигания низкоактивных твердых радиоактивных отходов (ТРО);
- участок хранения жидких радиоактивных отходов (ЖРО);
- участок хранения ТРО.

Согласно результатам специальной оценки условий труда (СОУТ) за 2023 год, основным вредным производственным фактором в рассматриваемом цехе является ионизирующее излучение (класс условий труда 3.3 на 91 % рабочих мест и класс 3.4 - на одном рабочем месте).

По уровню освещённости допустимый класс условий труда зафиксирован на 23,5 % рабочих мест, а по тяжести трудового процесса – на 34,4 % рабочих мест. На 11,7 % рабочих мест установлен химический фактор (допустимые условия труда (класс 2) и вредные условия труда (класс 3.1)).

Таким образом, на персонал судостроительного предприятия при обращении с РАО воздействует комплекс вредных производственных факторов. В рамках данной работы для детального анализа состояния производственной среды на различных этапах выполнения работ с РАО проведено исследование радиационного фактора, воздействующего на персонал.

Основной объем работ по обращению с РАО проводится в комплексе по переработке ЖРО и ТРО. Переработка ТРО осуществляется в основном вручную персоналом цеха. Участки помещений, где производятся операции с возможным поступлением радиоактивных веществ в воздух рабочей зоны (пресование, резка, дезактивация), удалены от других рабочих мест, а сами операции выполняются при работе местных вытяжных установок с применением индивидуальных средств индивидуальной защиты органов дыхания.

Работы по переработке ЖРО проводятся в большинстве случаев в автоматическом режиме и не требуют постоянного нахождения персонала на технологических участках, в то же время при выполнении работ по обслуживанию технологических систем возможно формирование неблагоприятной радиационной обстановки.

Особенностью условий труда при обращении с РАО является возможность значительных изменений уровней ионизирующих излучений в зависимости от вида выполняемых работ в течение одной рабочей смены.

Результаты ежемесячного производственного контроля радиационной обстановки за период 2017–2022 гг. при выполнении работ по обращению с РАО представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1. Результаты измерения мощности амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения по данным производственного контроля

[Table 1. Results of measuring of the ambient dose equivalent rate of gamma radiation according to production control data]

Наименование участка обращения с РАО [Name of the radioactive waste management site]	Значения мощности амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения*, мкЗв/ч [The values of the ambient dose equivalent rate of gamma radiation*, mSv/h]					
	в 2017 году [in 2017 year]	в 2018 году [in 2018 year]	в 2019 году [in 2019 year]	в 2020 году [in 2020 year]	в 2021 году [in 2021 year]	в 2022 году [in 2022 year]
Хранение ЖРО [Storage of liquid radioactive waste]	3,61 (3,33;3,90)	3,43 (3,21;3,66)	13,66 (10,21; 17,11)	10,48 (7,56; 13,41)	5,38 (5,00; 5,78)	3,3 (2,79; 3,81)
Переработка ТРО [Processing of solid radioactive waste]	38,66 (34,59; 42,73)	81,05 (68,22; 93,88)	241,62 (191,08; 292,16)	234,4 (165,51; 303,29)	677,83 (461,33; 894,34)	503,87 (424,67; 583,08)
Переработка ЖРО [Processing of liquid radioactive waste]	56,94 (47,15; 66,74)	66,04 (45,74; 86,34)	271,28 (197,47; 345,09)	227,78 (176,19; 279,38)	232,08 (202,27; 261,90)	359 (282,76; 435,24)
Сжигание низкоактивных ТРО [Burning of solid radioactive waste]	6,5 (5,66; 7,34)	3,6 (3,29; 3,92)	7,73 (6,67; 8,80)	9,53 (8,71; 10,60)	13,69 (10,91; 16,48)	12,37 (9,92; 14,83)
Хранение ТРО [Storage of solid radioactive waste]	123 (101,64; 144,36)	62 (57,81; 66,19)	56,11 (53,39; 58,82)	114,92 (108,62; 121,21)	288,92 (185,83; 392,00)	84,25 (78,99; 89,51)

* В таблице указаны средние значения, в скобках указаны нижняя и верхняя граница 95 % доверительного интервала [The table shows the average values, with the lower and upper bounds of the 95 % confidence interval in parentheses].

⁸ Методика измерений снимаемой поверхностной активности альфа- и бета-излучающих радионуклидов (номер в Федеральном реестре методик измерений: ФР.1.40.2015.19924, свидетельство об аттестации методики измерений № 451/210-(01.00250-2008)-2013) [Measurement method for the surface activity of alpha- and beta-emitting radionuclides (Federal Register number: FR.1.40.2015.19924, Certificate of Approval of the Measurement Method № 451/210-(01.00250-2008)-2013). (In Russ.)]

Таблица 2. Результаты измерения снимаемого загрязнения поверхностей бета-излучающими радионуклидами по данным производственного контроля

[Table 2. Measurement results of the removable surface contamination by beta-emitting radionuclides according to production control data]

Наименование участка обращения с РАО [Name of the radioactive waste management site]	Значения снимаемого загрязнения поверхностей бета-излучающими радионуклидами*, (част./((см ² ·мин)) [Values of the surface contamination by beta-emitting radionuclides* to be removed, (parts/(cm ² ·min))]					
	в 2017 году [in 2017 year]	в 2018 году [in 2018 year]	в 2019 году [in 2019 year]	в 2020 году [in 2020 year]	в 2021 году [in 2021 year]	в 2022 году [in 2022 year]
Хранение ЖРО [Storage of liquid radioactive waste]	66,67 (51,03; 82,31)	49,58 (46,64; 52,52)	1109,58 (626,03; 1593,14)	10261,3 (3347,78; 17174,74)	33,75 (33,11; 35,39)	31,25 (28,94; 33,56)
Переработка ТРО [Processing of solid radioactive waste]	96,67 (83,56; 109,78)	247,58 (208,82; 340,34)	256,67 (199,32; 314,01)	232,5 (185,35; 279,65)	2087,92 (1185,50; 2990,34)	1336,25 (777,14; 1895,36)
Переработка ЖРО [Processing of liquid radioactive waste]	102,08 (87,01; 117,16)	172,08 (136,31; 207,86)	116,67 (98,06; 135,28)	197,5 (145,70; 249,30)	800,83 (322,48; 1279,19)	395,62 (179,91; 611,34)
Сжигание низкоактивных ТРО [Burning of solid radioactive waste]	Менее 10 [Less than 10]	Менее 10 [Less than 10]	33,33 (5,38; 61,28)	4,17 (0,67; 7,66)	5,83 (3,21; 8,46)	10 (6,58; 13,42)
Хранение ТРО [Storage of solid radioactive waste]	165 (101,71; 229,96)	35 (16,29; 53,71)	48,33 (29,96; 66,70)	15,83 (11,78; 19,89)	16,67 (8,78; 24,55)	Менее 10 [Less than 10]

* В таблице указаны средние значения, в скобках указаны нижняя и верхняя граница 95 % доверительного интервала [The table shows the average values, with the lower and upper bounds of the 95 % confidence interval in parentheses].

Из данных таблицы 1 следует, что наибольшие уровни МАЭД зарегистрированы в помещениях переработки ТРО и ЖРО, а также на объекте, предназначенном для хранения ТРО. Это обусловлено выполнением работ с низко- и средне-активными РАО, а также хранением на участках контейнеров с отходами, бочек со шламом, фильтрами доочистки и др.

Из данных таблицы 2 следует, что наибольшие значения снимаемого поверхностного загрязнения зарегистрированы в помещениях объекта, предназначенного для хранения ЖРО (в 2020 году на данном участке выполнялись работы по обслуживанию (чистке и дезактивации) емкостей для сбора ЖРО, выгрузке осадка из них и др.). В 2021 году

отмечено повышение уровней снимаемого поверхностного загрязнения в помещениях, предназначенных для переработки ТРО, что обусловлено проведением радиационно опасных работ в данный период времени по дезактивации поверхности пола, приемом и переработкой ТРО. По результатам производственного контроля объемная активность радионуклидов в воздухе рабочих зон была меньше минимально измеряемой активности (менее 37 Бк/л).

Для оценки особенностей формирования радиационной обстановки на рабочих участках при различных этапах обращения с РАО были проведены измерения МАЭД на различных высотах от уровня пола (табл. 3–5).

Таблица 3. Результаты измерений мощности амбиентного эквивалента дозы на участках, предназначенных для переработки жидких радиоактивных отходов

[Table 3. The results of measurements of the ambient dose equivalent rate at sites intended for the processing of liquid radioactive waste]

Наименование участка измерения [Name of the measuring area]	Мощность амбиентного эквивалента дозы на высоте от уровня пола*, мкЗв/ч [Ambient dose equivalent rate at altitude from the floor level*, mSv/h]			
	30 см [30 cm]	80 см [80 cm]	120 см [120 cm]	160 см [160 cm]
Участок выпаривания ЖРО (нижний уровень) [Liquid radioactive waste evaporation site (lower level)]	13,14 (1,69; 24,57)	5,10 (2,57; 7,62)	3,53 (2,17; 4,88)	2,89 (2,02; 3,74)
Участок выпаривания ЖРО (верхний уровень) [Liquid radioactive waste evaporation site (upper level)]	5,33 (0,33; 10,32)	3,60 (1,08; 6,12)	3,15 (0,42; 5,88)	3,24 (0,55; 7,03)
Участок обратного осмоса [Reverse Osmosis site]	1,74 (1,27; 2,22)	2,20 (2,80; 1,60)	2,39 (1,77; 3,01)	2,45 (1,75; 3,16)

Наименование участка измерения [Name of the measuring area]	Мощность амбиентного эквивалента дозы на высоте от уровня пола*, мкЗв/ч [Ambient dose equivalent rate at altitude from the floor level*, mSv/h]			
	30 см [30 cm]	80 см [80 cm]	120 см [120 cm]	160 см [160 cm]
Участок сорбционной очистки [Sorption purification site]	3,85 (1,86; 5,85)	3,22 (1,89; 4,55)	2,59 (1,76; 3,42)	2,28 (1,58; 2,99)
Участок очистки ЖРО с линии спецпрачечной [A site for cleaning liquid radioactive waste from a special treatment line]	6,84 (1,08; 12,91)	9,18 (1,16; 19,53)	4,27 (0,53; 8,01)	3,03 (0,63; 5,43)
Участок расположения цистерн с ЖРО [Location of tanks with liquid radioactive waste]	0,19 (0,14; 0,24)	0,16 (0,13; 0,19)	0,15 (0,13; 0,17)	0,15 (0,13; 0,18)

* В таблице указаны средние значения, в скобках указаны нижняя и верхняя граница 95 % доверительного интервала [The table shows the average values, with the lower and upper bounds of the 95 % confidence interval in parentheses].

Таблица 4. Результаты измерений мощности амбиентного эквивалента дозы на участках, предназначенных для переработки твердых радиоактивных отходов

[Table 4. Results of measurements of the ambient dose equivalent rate at sites intended for solid radioactive waste processing]

Наименование участка измерения [Name of the measuring area]	Мощность амбиентного эквивалента дозы на высоте от уровня пола*, мкЗв/ч [Ambient dose equivalent rate at altitude from the floor level*, mSv/h]			
	30 см [30 cm]	80 см [80 cm]	120 см [120 cm]	160 см [160 cm]
Участок приема и сдачи контейнеров с ТРО [The site of reception and delivery of containers with solid radioactive waste]	1,85 (0,73; 2,96)	1,95 (1,03; 2,86)	1,37 (1,00; 1,73)	1,34 (1,09; 1,58)
Участок у стола для сортировки ТРО [The area at the table for sorting solid radioactive waste]	2,83 (0,89; 4,79)	2,63 (0,75; 4,51)	2,09 (0,63; 3,55)	1,85 (0,49; 3,21)
Участок у поддона для сбора и сортировки ТРО [The area near the pallet for collecting and sorting solid radioactive waste]	8,90 (1,53; 16,26)	3,87 (2,19; 5,54)	2,87 (1,90; 3,84)	2,27 (1,65; 2,89)
Помещение для временного хранения ТРО [Temporary storage of solid radioactive waste]	3,80 (2,89; 4,70)	6,15 (1,79; 10,50)	4,15 (3,64; 4,66)	2,95 (1,53; 4,37)

* В таблице указаны средние значения, в скобках указаны нижняя и верхняя граница 95 % доверительного интервала [The table shows the average values, with the lower and upper bounds of the 95 % confidence interval in parentheses].

Таблица 5. Результаты измерений мощности амбиентного эквивалента дозы на участках обращения с радиоактивными отходами

[Table 5. Results of measurements of the ambient dose equivalent rate at radioactive waste management sites]

Наименование участка измерения [Name of the measuring area]	Мощность амбиентного эквивалента дозы на высоте от уровня пола*, мкЗв/ч [Ambient dose equivalent power at altitude from the floor level*, mSv/h]			
	30 см [30 cm]	80 см [80 cm]	120 см [120 cm]	160 см [160 cm]
Спецпрачечная [Specialized laundry]	0,06 (0,05; 0,07)	0,06 (0,05; 0,07)	0,06 (0,05; 0,07)	0,07 (0,06; 0,08)
Участок хранения ЖРО [Liquid radioactive waste storage area]	0,31 (0,09; 0,53)	0,31 (0,11; 0,51)	0,29 (0,13; 0,45)	0,19 (0,07; 0,31)
Участок хранения ТРО [Solid radioactive waste storage area]	8,78 (5,03; 12,53)	9,17 (4,71; 13,62)	5,61 (3,11; 8,11)	5,67 (2,94; 8,39)

* В таблице указаны средние значения, в скобках указаны нижняя и верхняя граница 95 % доверительного интервала [The table shows the average values, with the lower and upper bounds of the 95 % confidence interval in parentheses].

Как следует из данных, представленных в таблицах 3–5, формирование радиационных полей на участках выполнения

работ имеет достаточно выраженные особенности. Так, наибольшие значения МАЭД на участках переработки ТРО

и ЖРО установлены на расстоянии 30 см и 80 см от пола, следовательно, большому облучению подвергается нижняя часть тела работников. В то же время необходимо отметить, что работы по сортировке и фрагментации ТРО являются преимущественно ручными, соответственно, кисти рук могут подвергаться большому облучению, чем другие части тела.

Для работников спецпрачечной в основном характерно однородное облучение всего тела, за исключением случаев проведения работ по сортировке спецбелья со значительным радиоактивным загрязнением (что связано с выполнением данной операции вручную мастером по ремонту и стирке белья).

При выполнении работ на участках хранения ЖРО и ТРО наибольший вклад в дозу облучения вносит излучение от контейнеров (цистерн) с отходами, которые формируют относительно равномерное облучение всего тела работника.

Уровни снимаемого загрязнения радиоактивными веществами рабочих поверхностей не превышали нормативных значений для помещений периодического пребывания персонала, приведённых в НРБ-99/2009⁹. По результатам измерений активности радионуклидов в мазках, снимаемых с рабочих поверхностей, определено следующее: во всех отобранных мазках (33 шт.) обнаружен ¹³⁷Cs (от 0,8 до 240 Бк), в девяти мазках – ⁶⁰Co (от 0,7 до 10 Бк), в одном – ¹⁵²Eu (18,9 Бк), в двух – ⁵⁴Mn (от 3,6 до 4,1 Бк).

Анализ нарядов-допусков на проведение радиационно опасных работ по обращению с РАО за 2020 - 2022 гг. показал, что в этих работах в основном участвуют работники следующих специальностей: переработчики РАО – 57,88 % от общего числа персонала, дозиметристы – 21,33 %, маляры – 4,42 % и слесари-ремонтники – 5,63 %.

Выполнение радиационно опасных работ характеризуется как высокими значениями МАЭД на рабочих местах

(например, 3,5 мЗв/ч при переработке ТРО и цементирование сорбента), так и снимаемого радиоактивного загрязнения поверхностей бета-излучающими радионуклидами (до 10⁵ част./см²·мин.) при выгрузке осадка из емкостей временного хранения ЖРО в специальные контейнеры-сборники и выпаривании емкостей ЖРО). Объемная активность радиоактивных веществ в воздухе рабочей зоны не превышала минимально измеряемой активности (37 Бк/л).

Максимальные значения индивидуальной дозы зарегистрированы у переработчиков РАО при выполнении работ по переработке ТРО: за 1 ч 45 мин – 1,16 мЗв (контрольный уровень составляет 1,5 мЗв в месяц). Таким образом, при выполнении некоторых видов работ за одну рабочую смену возможно облучение персонала в дозе, равной месячному контрольному уровню. На предприятии значение контрольного уровня дозы облучения за месяц установлено для всего персонала, занятого в выполнении работ, и не учитывает специальность персонала, объем и характер выполняемых работ.

Результаты анализа индивидуальных доз облучения персонала по данным статистических отчетных форм № 1-ДОЗ «Сведения о дозах облучения лиц из персонала в условиях нормальной эксплуатации организациями техногенных источников ионизирующих излучений» за период 2017-2022 гг. представлены в таблице 6.

На предприятии текущий индивидуальный дозиметрический контроль проводится с использованием термoluminescentных дозиметров, в случае проведения радиационно опасных работ дополнительно используются прямопоказывающие дозиметры. Анализ индивидуальных ожидаемых эффективных доз внутреннего облучения персонала группы А проводится с применением сцинтилляционного гамма-спектрометра «Прогресс-СИЧ».

Таблица 6. Значения индивидуальных доз облучения персонала за период 2017-2022 гг.

[Table 6. Values of individual personnel radiation doses for the period 2017-2022]

Специальность [Specialization]	Средние значения индивидуальной эффективной дозы внешнего/внутреннего облучения*, мЗв [Average values of the individual effective dose of external/internal irradiation*, mSv]					
	2017 год [year 2017]	2018 год [year 2018]	2019 год [year 2019]	2020 год [year 2020]	2021 год [year 2021]	2022 год [year 2022]
Переработчик РАО [The RW processor]	1,83 ± 0,61 / 0,06 ± 0,05	2,01 ± 0,45 / 0,08 ± 0,05	2,13 ± 1,01 / 0,03 ± 0,04	1,47 ± 0,37 / 0	1,32 ± 0,43 / 0,03 ± 0,03	1,14 ± 0,26 / 0,03 ± 0,03
Дозиметрист [Dosimetrist]	1,58 ± 1,01 / 0,03 ± 0,02	1,12 ± 0,81 / 0,02 ± 0,02	1,16 ± 0,55 / 0,02 ± 0,02	0,88 ± 0,34 / 0	0,90 ± 0,41 / 0,01 ± 0,02	0,89 ± 0,35 / 0,01 ± 0,02
Слесарь-ремонтник [Repairman]	1,19 ± 0,47 / 0,03 ± 0,05	1,27 ± 0,60 / 0,02 ± 0,02	1,32 ± 0,62 / 0,01 ± 0,01	0,79 ± 0,52 / 0	0,99 ± 0,61 / 0,01 ± 0,01	0,89 ± 0,45 / 0,01 ± 0,02
Маляр [Painter]	0,67 ± 0,59 / 0,01 ± 0,01	0,37 ± 0,31 / 0	0,43 ± 0,38 / 0	0,47 ± 0,54 / 0	0,48 ± 0,43 / 0	0,39 ± 0,28 / 0
Персонал группы А [Group A staff]	1,26 ± 1,25 / 0,01 ± 0,02	1,07 ± 1,06 / 0,01 ± 0,02	1,08 ± 1,24 / 0,01 ± 0,02	0,85 ± 0,96 / 0,01	0,89 ± 1,05 / 0,01 ± 0,01	0,81 ± 0,99 / 0,01 ± 0,01

* В таблице приведены средние значения с указанием их стандартных отклонений [The table shows the average values with their standard deviations].

Как следует из данных таблицы 6, средние значения индивидуальной дозы облучения персонала значительно ниже

установленного НРБ-99/2009 предела. В то же время установлено, что во время выполнения определённых радиаци-

⁹ Постановление Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 7 июля 2009 г. № 47 «Об утверждении СанПиН 2.6.1.2523-09» [Resolution № 47 of the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation dated July 7, 2009 "About the approval of SanPiN 2.6.1.2523-09" (In Russ.)]

онно опасных работ работники могут получить дозу облучения до 1,16 мЗв за одну смену, что практически равно среднегодовой дозе облучения на предприятии.

Также отмечено поступление радионуклидов в организм работников. Для переработчиков РАО значения ожидаемой эффективной дозы облучения были примерно в 3 раза выше по сравнению с остальным персоналом группы А. Основным путем поступления радионуклидов в организм работников в производственных условиях является ингаляционный. Установленные высокие уровни загрязнения рабочих поверхностей могут приводить к вторичной дефляции вследствие сдувки частиц радиоактивных веществ при работе вентиляции либо вследствие возникающих потоков воздуха при перемещении персонала, и, как следствие, к повышению активности радионуклидов в воздухе. Вместе с тем, по результатам производственного контроля радиационной обстановки загрязнение радиоактивными веществами воздуха рабочей зоны не зарегистрировано, что может говорить о необходимости повышения эффективности контроля поступления радиоактивных веществ в воздух рабочей зоны.

Таким образом, дозы облучения персонала на рабочих местах при обращении с РАО формируются преимущественно за счет гамма-излучения. Сравнение средних значений МАЭД показывает, что персонал, работающий на участках переработки ТРО и ЖРО, а также хранения ТРО, подвергается большему радиационному воздействию по сравнению с работниками спецпрачечной или участка временного хранения ЖРО. Полученные значения индивидуальных доз значительно ниже установленных пределов, что свидетельствует об эффективности действующих мер радиационной безопасности. Однако важно отметить, что в отдельных случаях за одну рабочую смену работник может получить дозу облучения, практически равную среднегодовой, что требует особого внимания к планированию и учету индивидуальных доз при выполнении радиационно опасных работ.

В тоже время, несмотря на отсутствие радиоактивных веществ в воздухе рабочей зоны по результатам производственного контроля, при выполнении ряда работ отмечаются уровни снимаемого поверхностного загрязнения выше установленных нормативов. Это свидетельствует о вероятности поступления радионуклидов в организм работников и подчеркивает необходимость разработки дополнительных мер по оперативному и более детальному контролю состояния воздушной среды.

Таким образом, приоритетным направлением совершенствования радиационного контроля на предприятии является:

- внедрение контрольных уровней дозы облучения за период выполнения одной однотипной радиационно опасной работы для каждой специальности персонала в целях снижения индивидуальных доз облучения персонала. В случае обнаружения превышения данного контрольного уровня необходимо после окончания проведения радиационно опасных работ провести анализ причин и определить меры радиационной безопасности для снижения полученной дозы облучения в дальнейшем,
- использование методов оперативного контроля объемной активности радионуклидов в воздухе на основе прямых измерений, например, с использованием переносных приборов радиационного контроля плотности потока альфа- и бета-частиц с экспонированного фильтра

АФА-РСП20. Отбор проб воздуха при проведении радиационного контроля рекомендуется производить в непосредственной близости от зоны дыхания персонала или использовать индивидуальные аэрозольные дозиметры.

Заключение

При выполнении работ по обращению с РАО ведущим вредным и (или) опасным производственным фактором является ионизирующее излучение, представленное внешним гамма-излучением и загрязнением поверхностей бета-излучающими радионуклидами (фиксированным и снимаемым).

Отмечается незначительное ухудшение радиационной обстановки на объектах по переработке ЖРО и ТРО, при этом средние значения индивидуальных доз облучения имеют тенденцию к снижению как по отдельным категориям персонала, так и по всему предприятию в целом, что говорит об эффективности обеспечения радиационной безопасности.

Выявлено неравномерное распределение дозовой нагрузки на разные части тела у персонала при выполнении различных этапов работ по обращению с РАО.

На основании полученных данных разработаны рекомендации по совершенствованию мероприятий, направленных на снижение доз облучения и оптимизацию радиационной защиты персонала предприятий атомного судостроения и судоремонта.

Сведения о личном вкладе авторов в работу над статьей

Арефьева Дарья Владимировна – координация работы участников исследования, организация экспедиционных работ, сбор и систематизация данных, поиск литературных источников, обработка полученных результатов, написание и редактирование текста статьи.

Грабский Юрий Валентинович – научное редактирование текста, проверка критически важного интеллектуального содержания.

Балтрукова Татьяна Борисовна – научное руководство исследованием, утверждение окончательного варианта рукописи.

Петушок Александра Владимировна – обработка и систематизация первичных материалов исследования, поиск литературных данных.

Благодарности

Авторы выражают благодарность анонимным рецензентам за проделанную работу.

Информация о конфликте интересов

Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

Сведения об источнике финансирования

Исследование выполнено в рамках Государственного задания от 29.12.2023 № 388-00089-24-00.

Литература

1. Утяшова О.В., Забелин А.А. Роль судостроения в обеспечении ускоренного развития Дальнего Востока в современных условиях // Московский экономический журнал. 2023. № 3. С. 364-372.

2. Лямин П.Л., Петухов В.В. Проблемы утилизации кораблей и судов с ядерными энергетическими установками // Судостроение. 2019. № 3(844). С. 50-54.
3. Сергеев А.И. Проблематика утилизации судов атомного технологического обслуживания. Ломоносовские чтения. Актуальные вопросы фундаментальных и прикладных исследований: сборник статей V Международной научно-практической конференции, Петрозаводск, 23 декабря 2020 года. Петрозаводск, 2020. С. 117-122.
4. Прокофьева Е.А. Русская Арктика: радиационная безопасность в перспективном регионе. Научные теории и разработки в условиях глобальных перемен: пределы и возможности: Материалы XI Международной научно-практической конференции, Рязань, 28 июля 2023 года. Рязань, 2023. С. 265-268.
5. Лямин П.Л., Петухов В.В., Таиров Т.Н. Утилизация морских объектов использования атомной энергии и проблемы учета и контроля отработавшего ядерного топлива и радиоактивных отходов // Судостроение. 2012. № 6(805). С. 42-47.
6. Волков В.Г., Герасов А.В., Гончаров Л.А. и др. Оптимизация системы радиационной защиты персонала при проведении работ по выводу из эксплуатации исследовательских реакторов МР и РФТ в НИЦ «Курчатовский институт» // АНРИ. 2013. № 1(72). С. 48-52.
7. Симаков А.В., Абрамов Ю.В., Проскурякова Н.Л. Радиационно-гигиенические аспекты управления безопасностью персонала. // Гигиена и санитария. 2017. 96(9). С. 878-882.
8. Иванченко А.В., Натха С.В., Шаяхметова А.А., Арефьева Д.В. Исследование факторов, влияющих на формирование радиационной обстановки при утилизации атомных объектов морской техники // Радиационная гигиена. 2013. Т. 6, № 4. С. 19-22.
9. Хазагеров С.М., Шаяхметова А.А., Арефьева Д.В., Иванова Т.А. Обоснование порядка контроля индивидуальных эквивалентных доз в хрусталике глаза от фотонного излучения в производственных условиях на предприятиях атомного судостроения и судоремонта // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 2-3. С. 48.
10. Степанов В.В., Крупкин А.Б., Иванченко А.В. и др. Гигиенические аспекты условий труда персонала предприятий, выполняющих работы по утилизации атомных подводных лодок и судов атомного технологического обслуживания // Medline.ru. Российский биомедицинский журнал. 2019. Т. 20. С. 307-321.
11. Крупкин А.Б., Степанов В.В., Саенко С.А. и др. Условия труда персонала при постройке, ремонте и утилизации атомных подводных лодок на предприятиях атомного судостроения и судоремонта // Medline.ru. Российский биомедицинский журнал. 2013. Т. 14. С. 465-479.
12. Походзей Л.В., Матвеев К.М., Крупкин А.Б. и др. Условия труда и состояние здоровья персонала при утилизации атомных подводных лодок и судов атомного технологического обслуживания // Медицина труда и промышленная экология. 2015. № 9. С. 119-120.
13. Симаков А.В., Арефьева Д.В., Абрамов Ю.В. и др. Совершенствование нормативного обеспечения радиационной безопасности персонала при утилизации кораблей с ядерными энергетическими установками и судов атомного технологического обслуживания // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2021. Т. 66, № 4. С. 37-41.
14. Симаков А.В., Метляева Н.А., Абрамов Ю.В. и др. Совершенствование санитарно-гигиенического и медицинского обеспечения персонала радиационно опасных объектов // Медицина труда и промышленная экология. 2017. № 4. С. 37-41.
15. Арефьева Д.В., Балтрукова Т.Б., Степанов В.В. и др. Гигиеническая оценка условий труда персонала предприятий атомного судостроения и судоремонта при обращении с радиоактивными отходами // Медицина труда и промышленная экология. 2025. Т. 65, № 3. С. 165-173.
16. Арефьева Д.В., Степанов В.В., Кожухова Н.А., Петушок А.В. Априорная оценка профессиональных рисков для здоровья персонала, выполняющего работы по обращению с радиоактивными отходами. Гигиена труда: вчера, сегодня, завтра: сборник трудов очно-заочной Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 100-летию курса «Гигиена труда» кафедры гигиены условий воспитания, обучения, труда и радиационной гигиены Северо-Западного государственного медицинского университета имени И.И. Мечникова, Санкт-Петербург, 22 мая 2025 года. СПб., 2025. С. 22-26.
17. Верведа А.Б., Арефьева Д.В., Авдиенко Г.Ю. и др. Оценка апостериорного профессионального риска для здоровья отдельных категорий персонала, выполняющего работы по обращению с радиоактивными отходами. Гигиена труда: вчера, сегодня, завтра: сборник трудов очно-заочной Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 100-летию курса «Гигиена труда» кафедры гигиены условий воспитания, обучения, труда и радиационной гигиены Северо-Западного государственного медицинского университета имени И.И. Мечникова, Санкт-Петербург, 22 мая 2025 года. СПб., 2025. С. 46-50.

Поступила: 29.08.2025

Арефьева Дарья Владимировна – исполняющая обязанности заведующего лабораторией № 1 Научно-исследовательского института промышленной и морской медицины Федерального медико-биологического агентства.
Адрес для переписки: 196143, Россия, Санкт-Петербург, проспект Юрия Гагарина, д. 65; E-mail: lab1niipmm@yandex.ru; ORCID: 0000-0002-3879-8594, РИНЦ Author ID: 914975

Грабский Юрий Валентинович – врио директора Научно-исследовательского института промышленной и морской медицины Федерального медико-биологического агентства, Санкт-Петербург, Россия; ORCID: 0000-0002-8563-3290, РИНЦ Author ID: 534106

Балтрукова Татьяна Борисовна – доктор медицинских наук, профессор, ведущий научный сотрудник лаборатории № 2 Научно-исследовательского института промышленной и морской медицины Федерального медико-биологического агентства, Санкт-Петербург, Россия; ORCID: 0000-0002-8726-7044, РИНЦ Author ID: 268265

Петушок Александра Владимировна – младший научный сотрудник лаборатории № 1 Научно-исследовательского института промышленной и морской медицины Федерального медико-биологического агентства, Санкт-Петербург, Россия; ORCID: 0000-0002-1017-1159, РИНЦ Author ID: 1060335

Для цитирования: Арефьева Д.В., Грабский Ю.В., Балтрукова Т.Б., Петушок А.В. Радиационная обстановка на рабочих местах персонала при обращении с радиоактивными отходами на предприятиях атомного судостроения и судоремонта // Радиационная гигиена. 2026. Т. 19, № 2. С. 53–62. DOI: 10.21514/1998-426X-2026-19-2-53-62

Radiation situation at workplaces of personnel during radioactive waste management at nuclear shipbuilding and ship repair enterprises

Darya V. Arefieva, Yuriy V. Grabsky, Tatyana B. Baltrukova, Aleksandra V. Petushok

Scientific Research Institute of Industrial and Marine Medicine, Federal Medical and Biological Agency, Saint Petersburg, Russia

The relevance of the study is driven by the active development of the shipbuilding industry in Russia, including enterprises of atomic shipbuilding and ship repair, where radioactive waste is generated. The increase in work volumes with radioactive waste raises the risk of increased radiation doses to personnel, necessitating a comprehensive assessment of the radiation environment and improvement of the radiation control system. The aim of this work is to assess the radiation environment at personnel workplaces during radioactive waste handling and to identify priority directions for improving the radiation control system. Materials and Methods: The assessment of the radiation environment was performed based on the enterprise's production control materials and field study data. Parameter measurements were conducted using certified measurement methodologies. All measuring instruments underwent timely metrological verification. Results and Discussion: Results showed that the main radiation factors affecting personnel working conditions are external gamma radiation and radioactive contamination of work surfaces by beta-emitting radionuclides (both fixed and removable). An uneven distribution of dose load on the body was identified during different stages of radioactive waste handling. At the workplaces involved in processing liquid and solid radioactive waste, gamma radiation levels exceed those at other workplaces. However, the average individual radiation doses of personnel do not exceed dose limits and tend to decrease both within specific personnel categories and across the enterprise as a whole. Conclusion: The conclusion confirms the effectiveness of current radiation safety measures and identifies priority directions for improving the radiation control system at the enterprise.

Key words: radiation doses, nuclear shipbuilding and ship repair enterprises, radioactive waste, working conditions, radiation safety, radiation control.

Authors' personal contribution

Arefieva Daria Vladimirovna – coordination of the research participants, organization of expedition work, collection and systematization of data, search for literary sources, processing of the obtained results, writing and editing the text of the article.

Grabsky Yuriy Valentinovich – scientific editing of the text, verification of critically important intellectual content.

Baltrukova Tatyana Borisovna – scientific management of the research, approval of the final version of the manuscript.

Petushok Aleksandra Vladimirovna – processing and systematization of the primary research materials, search for literary data.

Acknowledgments

The authors are grateful to anonymous reviewers for their work.

Conflict of interests

The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest in connection with the publication of this article.

Sources of funding

The study was carried out within the framework of the State Task No. 388-00089-24-00 dated 12/29/2023.

References

1. Utyashova OV, Zabelin AA. The role of shipbuilding in ensuring the accelerated development of the Far East in modern conditions. *Moskovskiy ekonomicheskii zhurnal = Moscow Economic Journal*. 2023;3:364-372. (In Russian).
2. Lyamin PL, Petukhov VV. Problems of recycling ships and vessels with nuclear power plants. *Sudostroenie = Shipbuilding*. 2019;3(844): 50-54. (In Russian).
3. Sergeev AI. Problems of recycling of nuclear technological service vessels. Lomonosov readings. Actual issues of fundamental and applied research: collection of articles of the V International Scientific and Practical Conference, Petrozavodsk, December 23; 2020. P. 117-122. (In Russian).
4. Prokofieva EA. The Russian Arctic: radiation safety in a promising region. Scientific theories and developments in the context of global change: limits and opportunities: Proceedings of the XI International Scientific and Practical Conference, Ryazan, July 28; 2023. P. 265-268. (In Russian).
5. Lyamin PL, Petukhov VV, Tairov TN. Utilization of marine facilities for the use of atomic energy and problems of accounting and control of spent nuclear fuel and radioactive waste. *Sudostroenie = Shipbuilding*. 2012;6(805): 42-47. (In Russian).
6. Volkov VG, Gerasov AV, Goncharov LA, Drozdov AA, Zverkov YA, Ivanov OP, et al. Optimization of personnel radiation protection system during decommissioning of MR and RFT

Darya V. Arefieva

Scientific Research Institute of Industrial and Marine Medicine

Address for correspondence: 65, Yuri Gagarin Avenue, Saint Petersburg, 196143, Russia; E-mail: lab1niipmm@yandex.ru

- research reactors at the Kurchatov Institute Research Center. *ANRI= ANRI*. 2013;1(72): 48-52. (In Russian).
7. Simakov AV, Abramov YuV, Proskuryakova NL. Radiation and hygienic aspects of personnel safety management. *Gigiyena i sanitariya = Hygiene and sanitation*. 2017;96(9): 878-882. (In Russian).
 8. Ivanchenko AV, Natkha SV, Shayakhmetova AA, Arefyeva DV. Investigation of factors influencing the formation of the radiation environment during the disposal of nuclear facilities of marine equipment. *Radiatsionnaya inzheneriya = Radiation engineering*. 2013;6(4): 19-22. (In Russian).
 9. Khazagerov SM, Shayakhmetova AA, Arefyeva DV, Ivanova TA. Substantiation of the procedure for monitoring individual equivalent doses in the eye crystal from photon radiation in industrial conditions at nuclear shipbuilding and ship repair enterprises. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya = Modern problems of science and education*. 2015;2-3: 48. (In Russian).
 10. Stepanov VV, Krupkin AB, Ivanchenko AV, Kopin SV, Pisanko VL, Trofimchuk SN, et al. Hygienic aspects of working conditions of personnel of enterprises performing work on the disposal of nuclear submarines and nuclear technological service vessels. *Medline.ru. Rossiyskiy biomeditsinskiy zhurnal = Russian Biomedical Journal*. 2019;20: 307-321. (In Russian).
 11. Krupkin AB, Stepanov VV, Saenko SA, Kovygin GF, Dokhov MA, Matveev KM, et al. Working conditions of personnel during the construction, repair and disposal of nuclear submarines at nuclear shipbuilding and ship repair enterprises. *Medline.ru. Rossiyskiy biomeditsinskiy zhurnal = Russian Biomedical Journal*. 2013;14: 465-479. (In Russian).
 12. Pokhodzey LV, Matveev KM, Krupkin AB, Saenko SA, Dokhov MA. Working conditions and health status of personnel during the disposal of nuclear submarines and nuclear technological service vessels. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya = Occupational medicine and industrial ecology*. 2015;9: 119-120. (In Russian).
 13. Simakov AV, Arefyeva DV, Abramov YuV, Proskuryakova NL, Kemsy IA, Shayakhmetova AA. Improvement of the regulatory provision of radiation safety of personnel during the disposal of ships with nuclear power plants and nuclear technological service vessels. *Meditsinskaya radiologiya i radiatsionnaya bezopasnost = Medical radiology and radiation safety*. 2021;66(4): 37-41. (In Russian).
 14. Simakov AV, Metlyaeva NA, Abramov YuV, Khazagerov SM, Arefyeva TI. Improvement of sanitary, hygienic and medical support for personnel of radiation-hazardous facilities. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya = Occupational medicine and industrial ecology*. 2017;4: 37-41. (In Russian).
 15. Arefyeva DV, Baltrukova TB, Stepanov VV, Kozhukhova NA, Shayakhmetova AA. Hygienic assessment of working conditions of personnel of nuclear shipbuilding and ship repair enterprises in radioactive waste management. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya = Occupational medicine and industrial ecology*. 2025;65(3): 165-173. (In Russian).
 16. Arefyeva DV, Stepanov VV, Kozhukhova NA, Petushok AV. A priori assessment of occupational health risks for personnel performing radioactive waste management work. Occupational hygiene: yesterday, today, tomorrow: proceedings of the full-time and part-time All-Russian Scientific and Practical Conference with international participation, dedicated to the 100th anniversary of the course «Occupational Hygiene» of the Department of Hygiene of conditions of upbringing, Education, Labor and Radiation Hygiene of the I.I. Mechnikov Northwestern State Medical University, St. Petersburg, May 22, 2025. St. Petersburg; 2025. P. 22-26. (In Russian).
 17. Verveda AB, Arefyeva DV, Avdienko GYu, Levkina EV, Stepanov VV. Assessment of the occupational risk to the health of certain categories of personnel engaged in radioactive waste management. Occupational hygiene: yesterday, today, tomorrow: proceedings of the full-time and part-time All-Russian Scientific and Practical Conference with international participation, dedicated to the 100th anniversary of the course «Occupational Hygiene» of the Department of Hygiene of conditions of upbringing, Education, Labor and Radiation Hygiene of the I.I. Mechnikov Northwestern State Medical University, St. Petersburg, May 22, 2025. St. Petersburg; 2025. P. 46-50. (In Russian).

Received: August 29, 2025

For correspondence: Darya V. Arefieva – Acting Head of Laboratory No. 1, Scientific Research Institute of Industrial and Marine Medicine, Federal Medical and Biological Agency (65, Yuri Gagarin Avenue, Saint Petersburg, 196143, Russia; E-mail: lab1niipmm@yandex.ru); ORCID: 0000-0002-3879-8594, RSCI Author ID: 914975

Yuriy V. Grabsky – Director, Scientific Research Institute of Industrial and Marine Medicine, Federal Medical and Biological Agency, Saint Petersburg, Russia; ORCID: 0000-0002-8563-3290, RSCI Author ID: 534106

Tatyana B. Baltrukova – Leading Researcher of Laboratory No. 2, Scientific Research Institute of Industrial and Marine Medicine, Federal Medical and Biological Agency, Saint Petersburg, Russia; ORCID: 0000-0002-8726-7044, RSCI Author ID: 268265

Aleksandra V. Petushok - Junior Researcher of Laboratory No. 1, Scientific Research Institute of Industrial and Marine Medicine, Federal Medical and Biological Agency, Saint Petersburg, Russia; ORCID: 0000-0002-1017-1159, RSCI Author ID: 1060335

For citation: Arefieva D.V., Grabsky Yu.V., Baltrukova T.B., Petushok A.V. Radiation situation at workplaces of personnel during radioactive waste management at nuclear shipbuilding and ship repair enterprises. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2026. Vol. 19, No. 2. P. 53–62. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2026-19-2-53-62