

## Особенности облучения персонала при выполнении работ по ремонту атомных морских объектов

Кожухова Н.А., Балтрукова Т.Б., Арефьева Д.В.

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

*Стратегия развития отечественной судостроительной промышленности предполагает многократное увеличение объемов ремонта атомных морских объектов, что актуализирует задачи по обеспечению радиационной безопасности персонала. Цель исследования – определить условия и уровни воздействия ионизирующего излучения на рабочих местах различных категорий персонала предприятия атомного судоремонта, в том числе при повышенной производственной нагрузке. Материалы и методы: Исследование проводилось на крупном предприятии атомного судоремонта. На рабочих местах основного, вспомогательного и административного персонала (группа А) измеряли мощность Ambientного эквивалента дозы гамма-излучения и уровни бета-загрязнения. Проанализированы данные радиационного контроля предприятия и пятилетние статистические формы №1-ДОЗ (2016–2020 гг.). Для оценки максимально возможных доз использовались индивидуальные термомюнесцентные дозиметры. Результаты исследования и обсуждение: В периоды отсутствия радиационно-опасных работ мощность Ambientного эквивалента дозы на большинстве рабочих мест не превышала фоновых значений (0,16 мкЗв/ч), за исключением зоны у цистерны с жидкими радиоактивными отходами (до 6,75 мкЗв/ч). При выполнении потенциально опасных работ (обслуживание первого контура, демонтаж механизмов защиты) мощность Ambientного эквивалента дозы достигала 4,91–7,15 мкЗв/ч. Наибольшие среднегодовые индивидуальные эффективные дозы за пятилетие зарегистрированы у дефектоскопистов (6,89 мЗв/год). Расчет для условий полной производственной загрузки выявил гипотетический риск превышения пределов доз для некоторых специальностей (слесарь-монтажник, дефектоскопист), особенно для хрусталика глаза. Заключение: Условия облучения персонала существенно различаются в зависимости от профессии и вида работ. Для обеспечения радиационной безопасности необходим дифференцированный подход к планированию ремонтных работ с учетом специальности персонала, характера операций и строгого соблюдения регламентов, особенно в периоды высокой нагрузки и для групп повышенного риска.*

**Ключевые слова:** персонал, воздействие ионизирующего излучения, предприятия атомного судоремонта, атомные морские объекты, радиационная безопасность, доза облучения.

### Введение

Стратегия развития отечественной судостроительной промышленности на период до 2036 года и дальнейшую перспективу до 2050 года предполагает кратное увеличение мощностей предприятий, выполняющих судоремонтные работы. Это связано с ростом объемов ввода в строй новых судов, в том числе атомных морских объектов (АМО), используемых для промышленного освоения и обеспечения безопасности в Арктической зоне Российской Федерации.

Технологические процессы ремонта АМО в целом аналогичны таковым при ремонте иных судов морского и речного флота. Однако из-за наличия ядерных энергетических установок и связанных с ними системами и устройствами, обеспечивающими их бесперебойную работу и радиационную защиту экипажа, возникает необходимость обеспечения ядерной и радиационной безопасности персонала предприятий атомного судоремонта на всех этапах выполнения ремонтных работ [1–3].

При ремонте АМО работники, с одной стороны, подвергаются воздействию различных вредных и (или) опасных

производственных факторов, типичных для предприятий судостроительной отрасли в целом: неблагоприятный микроклимат, производственный шум, локальная и общая вибрация, повышенные концентрации сварочных аэрозолей и иных химических веществ в воздухе рабочей зоны, высокие тяжесть труда и напряженность трудового процесса [4–6]. С другой стороны, они подвергаются воздействию ионизирующего излучения при выполнении работ в зоне строгого режима (ЗСР) - цехах, участках, помещениях, предназначенных для работы с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующего излучения [1, 7, 8].

При разработке мер защиты от негативного влияния производственных радиационных факторов необходимо учитывать условия и уровни облучения на рабочих местах работников конкретных профессиональных категорий, которые могут существенно различаться, обуславливая различия радиационных рисков.

**Цель исследования** – определить условия и уровни воздействия ионизирующего излучения на рабочих местах различных категорий персонала предприятия атомного судоремонта, в том числе при повышенной производственной нагрузке.

**Кожухова Наталья Александровна**

Научно-исследовательский институт промышленной и морской медицины

Адрес для переписки: 196143, Россия, Санкт-Петербург, проспект Юрия Гагарина, д. 65; E-mail: lab2niipmm@yandex.ru

## Материалы и методы

Исследования выполнены на рабочих местах персонала крупного предприятия атомного судоремонта в Северо-Западном федеральном округе Российской Федерации.

Были обследованы рабочие места персонала группы А следующих профессиональных групп:

- специалистов основных профессий, непосредственно работающих в зоне воздействия ионизирующего излучения, в том числе в ЗСР: сварщиков, сварщиков-монтажников, электромонтеров, демонтировщиков, монтажников, газорезчиков, слесарей-монтажников;

- вспомогательного персонала, принимающего участие в обеспечении работы основного персонала и (или) контролирующего качество его работы и безопасность: регулировщиков радиационной аппаратуры, дежурных вахтенной службы, дежурных по АМО, дежурных в ЗСР, вахтенных взрывопожароопасных работ, уборщиц, дозиметристов;

- административного персонала – сотрудников, обеспечивающих эффективное функционирование производства, занимающихся работой в офисных помещениях, но по своим должностным обязанностям посещающих участки территории, сооружения и помещения, расположенные в ЗСР: начальник отдела лаборатории внешней среды, начальник дозиметрической службы и другие.

Уровни ионизирующего излучения определяли на рабочих местах основного, вспомогательного и административного персонала при выполнении работ на этапах подготовки к ремонту, непосредственно ремонта и завершения ремонта АМО. Рабочие места персонала располагались как в ЗСР, так и за ее пределами.

На рабочих местах определяли мощность амбиентного эквивалента дозы (МАЭД) гамма-излучения и уровни загрязнения рабочих поверхностей бета-излучающими радионуклидами.

Измерение МАЭД гамма-излучения проводили с использованием спектрометра МКС-АТ6102А в соответствии с требованиями руководства по эксплуатации на прибор<sup>1</sup> и МУ 2.6.5.008-2016 «Контроль радиационной обстановки. Общие требования»<sup>2</sup>. Измерения проводили в положении «стоя» в каждой точке на четырех высотах от пола: 0,1 м (на уровне стоп), 1 м (на уровне таза), 1,4 м (на уровне груди) и 1,7 м (на уровне головы).

Определение уровней загрязнения рабочих поверхностей бета-излучающими радионуклидами проведено на ос-

нове измерений плотности потока бета-частиц с использованием дозиметра-радиометра МКС-АТ1117М в соответствии с требованиями руководства по эксплуатации на прибор<sup>3</sup>, МУ 2.6.5.032-2017 «Контроль радиоактивного загрязнения поверхностей»<sup>4</sup>.

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

Помимо собственных исследований для более полного анализа радиационной обстановки на предприятии атомного судоремонта были использованы данные, предоставленные отделом ядерной и радиационной безопасности (ОЯРБ) предприятия за 2020 год.

Оценку и анализ индивидуальных эффективных доз облучения персонала, занятого в работах по ремонту АМО, проводили по данным статистических отчетных форм № 1-ДОЗ «Сведения о дозах облучения лиц из персонала в условиях нормальной эксплуатации организациями техногенных источников ионизирующих излучений»<sup>5</sup> за пять лет (2016–2020 гг.).

Учитывая, что объем и порядок выполнения работ по ремонту АМО на предприятии зависит от состояния ремонтируемой техники, вида, объема и графика проведения этих работ в общем комплексе ремонта, дозы облучения персонала могут колебаться от года к году. Поэтому для более объективной оценки годовых индивидуальных доз внешнего облучения персонала рассчитывали среднегодовые дозы облучения персоналом за пять лет.

Также была определена максимально возможная доза облучения персонала при максимальной (полной) производственной нагрузке. Для этого дополнительно были проведены измерения индивидуального эквивалента дозы внешнего облучения на все тело, хрусталик и кожу у персонала с помощью индивидуальных термолюминесцентных дозиметров для отдельных профессиональных групп, накопленных в течение 30 рабочих смен при выполнении радиационно-опасных работ с последующим расчетом показателя. При расчетах принималось, что рабочая смена персонала группы А составляет 7 ч, стандартное время облучения в течение календарного года – 1700 ч/год<sup>6</sup>. Дозиметры ДТЛ-02 размещали на нагрудном кармане работника, дозиметр МКД (тип А) – на уровне глаз (на каске или защитных очках), дозиметр МКД (тип Б) – на защитных перчатках<sup>7,8</sup>. Выбор дозиметров для проведения исследования осуществлялся на основе данных, представленных в научных статьях [9–11].

<sup>1</sup>Руководство по эксплуатации на спектрометр МКС-АТ6102А. Научно-производственное унитарное предприятие «АТОМТЕХ». Беларусь, г. Минск, 2012. 86 с. [User Manual for the MKS-AT6102A Spectrometer. Scientific and Production Unitary Enterprise ATOMTECH. Belarus, Minsk; 2012. 86 p. (In Russ.)]

<sup>2</sup>Методические указания МУ 2.6.5.008-2016 Контроль радиационной обстановки. Общие требования. М.: ФМБА России, 2016. [Methodological Guidelines MU 2.6.5.008-2016 Radiation Monitoring. General requirements. Moscow: FMBA of Russia; 2016. (In Russ.)]

<sup>3</sup>Руководство по эксплуатации на дозиметр-радиометр МКС-АТ1117М. Научно-производственное унитарное предприятие «АТОМТЕХ». Беларусь, Минск, 2011. 117 с. [User Manual for the MKS-AT6102A Spectrometer. Scientific and Production Unitary Enterprise ATOMTECH. Belarus, Minsk, 2011. 117 p. (In Russ.)]

<sup>4</sup>Методические указания МУ 2.6.5.032-2017 Контроль радиоактивного загрязнения поверхностей. М.: ФМБА России, 2017. [Methodological Guidelines MU 2.6.5.032-2017 Control of Radioactive Contamination of Surfaces. Moscow: FMBA of Russia; 2017. (In Russ.)]

<sup>5</sup>Методические рекомендации «Заполнение форм федерального государственного статистического наблюдения №1-ДОЗ». М.: Федеральный Центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2013. [Methodological recommendations «Filling out forms of federal state statistical observation No. 1-DOZ». Moscow: Federal Center for Hygiene and Epidemiology of Rosпотребнадзор, 2013. (In Russ.)]

<sup>6</sup>Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): Санитарные правила и нормативы СанПиН 2.6.1.2523-09. Утверждены постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 07.07.2009 No 47 (зарегистрировано в Министерстве юстиции Российской Федерации 14.08.2009, регистрационный No 14534). [Norms of radiation safety (NRB-99/2009). Sanitary rules and norms SanPIN 2.6.1.2523-09. Approved by the resolution of the Chief state sanitary doctor of the Russian Federation of 07.07.2009 No. 47 (registered with the Ministry of Justice of the Russian Federation on 14.08.2009, registration No. 14534). (In Russ.)]

<sup>7</sup>Методика выполнения измерений эквивалента индивидуальной дозы фотонного излучения ФР. 1.38.2011.10714. Санкт-Петербург: ФГУП НИИ ПММ, 2011. 8 с. [Method for measuring the individual dose equivalent of photon radiation FR. 1.38.2011.10714. Saint Petersburg: FSUE Research Institute of PMM; 2011. 8 p. (In Russ.)]

<sup>8</sup>Методика измерений доз фотонного и бета-излучения в коже пальцев рук, лица и хрусталика глаза у персонала с использованием дозиметров из состава дозиметрической термолюминесцентной установки ДВГ-02ТМ (свидетельство об аттестации методики № 40090.2Г 082). Москва: ООО НПП «Доза», 2012. 19 с. [Methodology for measuring photon and beta radiation doses in the skin of the fingers, face, and lens of the eye of personnel using dosimeters from the DVG-02TM dosimetric thermoluminescent unit (certificate of methodology certification No. 40090.2G 082). Moscow: Dosa NPP LLC; 2012. 19 p. (In Russ.)]

### Результаты и обсуждение

Условия профессионального облучения персонала предприятия определяются технологическими особенностями атомного судоремонта. Работы, связанные с обслуживанием и ремонтом ядерных энергетических установок АМО, включают в себя выгрузку и загрузку ядерного топлива в реактор, обслуживание системы охлаждения, ремонт или замену элементов реактора и системы охлаждения.

Работы по ремонту АМО в зависимости от этапа проводятся в доках, цехах (эллингах) и на спецнабережной предприятия.

На ремонтируемых АМО проводятся следующие радиационно-опасные и потенциально опасные работы:

- выгрузка/загрузка ядерного топлива (при необходимости),
- обеспечение хранения первого контура (замена воды, консервирующего раствора и отбор проб),
- гидравлические испытания первого контура,
- демонтаж исполнительных механизмов аварийной защиты,
- дренирование первого контура,
- демонтаж приводов компенсирующих групп,
- обеспечение хранения ядерных паропроизводящих установок с загруженными активными зонами реакторов (отбор проб левого и правого бортов, замена консервирующего раствора).

Кроме этого, при проведении ремонтных работ в цехах и на спецнабережной регулярно проводятся работы по гамма-графированию сварных швов с помощью гамма-дефектоскопов.

Особенностью ремонта АМО является тот факт, что при выполнении работ воздействию ионизирующего излучения подвергается не только основной, но и вспомогательный персонал предприятия.

Измерения МАЭД гамма-излучения и плотности потока бета-частиц, выполненные на различных этапах ремонта АМО в период отсутствия работ, связанных с ядерной энергетической установкой, и после проведения дезактивации помещений, показали, что на рабочих местах персонала основных и вспомогательных профессий значения МАЭД колебались в пределах 0,03–0,17 мкЗв/ч и в помещениях АМО были значительно ниже фоновых значений, характерных для предприятия (в среднем 0,16 мкЗв/ч), что связано с конструктивными особенностями ремонтируемых объектов и экранированием фона используемыми конструкционными материалами. Плотность потока бета-частиц не превышала 10 част./см<sup>2</sup>×мин) на всех рабочих местах основного, вспомогательного и административного персонала.

Однако в цехе ремонта АМО у цистерны с жидкими радиоактивными отходами в условиях отсутствия проведения радиационно-опасных работ и после дезактивации помещений МАЭД статистически значимо ( $p < 0,001$ ) превышала значения на остальных рабочих местах в цехе на всех измеренных высотах. Значения МАЭД на рабочих местах у цистерны составили:  $6,75 \pm 0,02$  мкЗв/ч,  $6,75 \pm 0,04$  мкЗв/ч,  $1,85 \pm 0,02$  мкЗв/ч и  $1,02 \pm 0,01$  мкЗв/ч на высоте 0,1; 1,0; 1,4; 1,7 м от пола соответственно. Наибольшие значения, зафиксированные на высоте 0,1 и 1,0 м, были обусловлены неполным заполнением цистерны жидкими радиоактивными отходами и образованием более концентрированного осадка на их дне, в связи с чем

при дальнейшем заполнении цистерны можно ожидать повышения уровня МАЭД и на более высоких отметках.

Таким образом, на всех этапах выполнения ремонта АМО (в период отсутствия работ с ядерными энергетическими установками) средние значения МАЭД гамма-излучения на рабочих местах персонала основных и вспомогательных профессий не превышали фоновых значений (0,16 мкЗв/ч), за исключением рабочего места у цистерны с жидкими радиоактивными отходами –  $4,10 \pm 0,56$  мкЗв/ч.

Средние уровни МАЭД гамма-излучения на рабочих местах административного персонала предприятия составляли  $0,04 \pm 0,02$  мкЗв/ч.

По данным радиационного контроля ОЯРБ, максимальные значения за исследуемый период МАЭД гамма-излучения были зарегистрированы при проведении потенциально опасных работ (работы, обеспечивающие хранение первого контура (отбор проб), демонтаж исполнительных механизмов аварийной защиты, дренирование первого контура, демонтаж приводов компенсирующих групп). Они достигали на технической площадке в ЗСР  $4,91$  мкЗв/ч и в прочном корпусе реакторного отсека –  $6,0$  мкЗв/ч. При выполнении работ, связанных с хранением паропроизводящей установки с загруженными активными зонами реакторов (замена консервирующего раствора), максимальная МАЭД в носовой и кормовой аппаратной выгородках и на технической площадке в ЗСР составляла  $7,15$  мкЗв/ч.

Наиболее часто повторяющейся радиационно-опасной работой является проведение радионуклидной дефектоскопии, в выполнении которой участвует персонал по специальности «дефектоскописты рентгено- и гамма-графирования». При транспортировке оборудования и выполнении работ по радионуклидной дефектоскопии средние значения МАЭД существенно различались и составляли  $10,16 \pm 4,63$  мкЗв/ч и  $466,70 \pm 326,68$  мкЗв/ч соответственно [7, 8].

Распределение среднегодовых значений индивидуальных эффективных доз облучения персонала (по данным отчетных форм № 1-ДОЗ) в целом по предприятию и аппроксимация их логнормального распределения представлены на рисунке 1.

Как видно из рисунка 1, превышение значения 2 мЗв/год установлено в среднем у 10,5 % персонала (193 человека), что свидетельствует о том, что значения индивидуального эквивалента дозы облучения персонала группы А значительно ниже пределов доз облучения, установленных СанПиН 2.6.1.2523-09 «Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009)»<sup>6</sup>.

Результаты анализа формы № 1-ДОЗ показали, что среднегодовые индивидуальные эффективные дозы внешнего облучения различались в зависимости от профессиональной группы. Так, у персонала основной группы они находились в пределах от 0,14 мЗв/год до 6,89 мЗв/год, у вспомогательного персонала – в пределах от 0,28 мЗв/год до 2,46 мЗв/год, а у административного – от 0,14 мЗв/год до 3,57 мЗв/год.

В связи с существенной вариабельностью продолжительности выполнения работ, включая деятельность в ЗСР, обусловленной различиями профессиональных обязанностей, характером и объемом производственных операций, был осуществлен анализ среднегодовых индивидуальных доз внешнего облучения персонала различных специальностей (рис. 2–4).

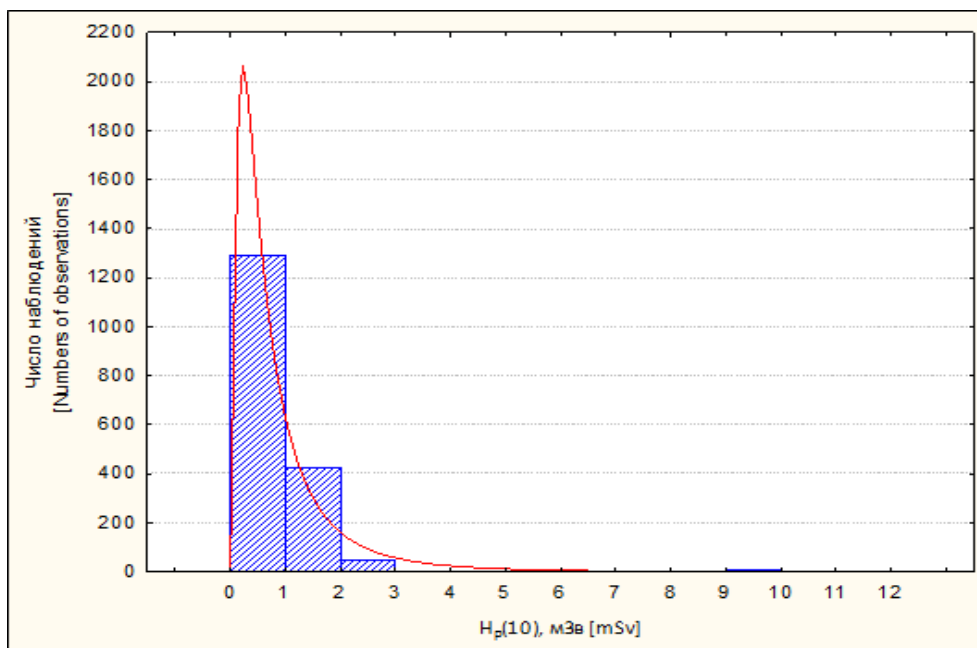


Рис. 1. Распределение среднегодовых значений индивидуальных эффективных доз облучения персонала и аппроксимация их логнормального распределения за 2016–2020 гг.

[Fig. 1. Analysis of annual mean individual effective dose distribution among personnel with log-normal distribution approximation, 2016–2020]

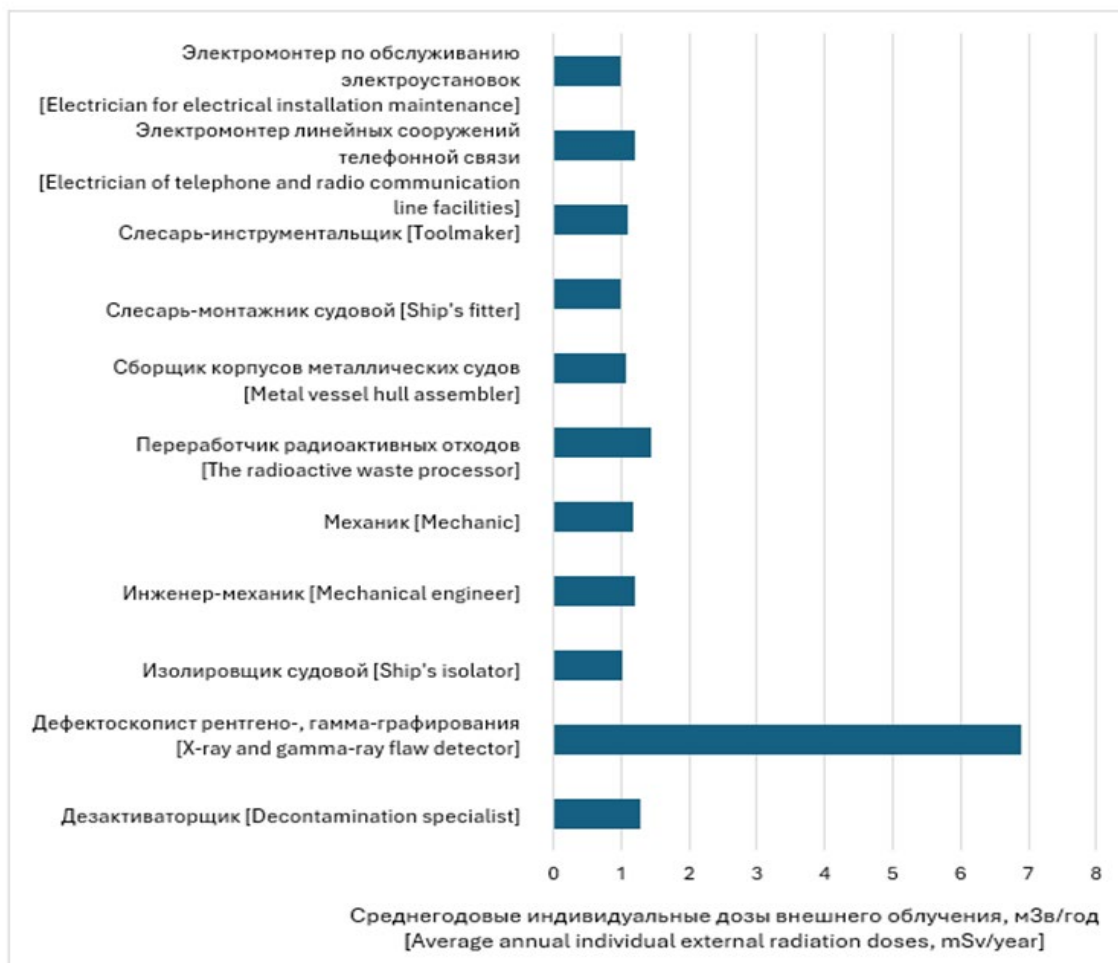


Рис. 2. Среднегодовые значения индивидуальных эффективных доз внешнего облучения специалистов основных профессий за 2016–2020 гг.

[Fig. 2. Yearly average individual effective doses of external radiation exposure for key occupational groups, 2016–2020]

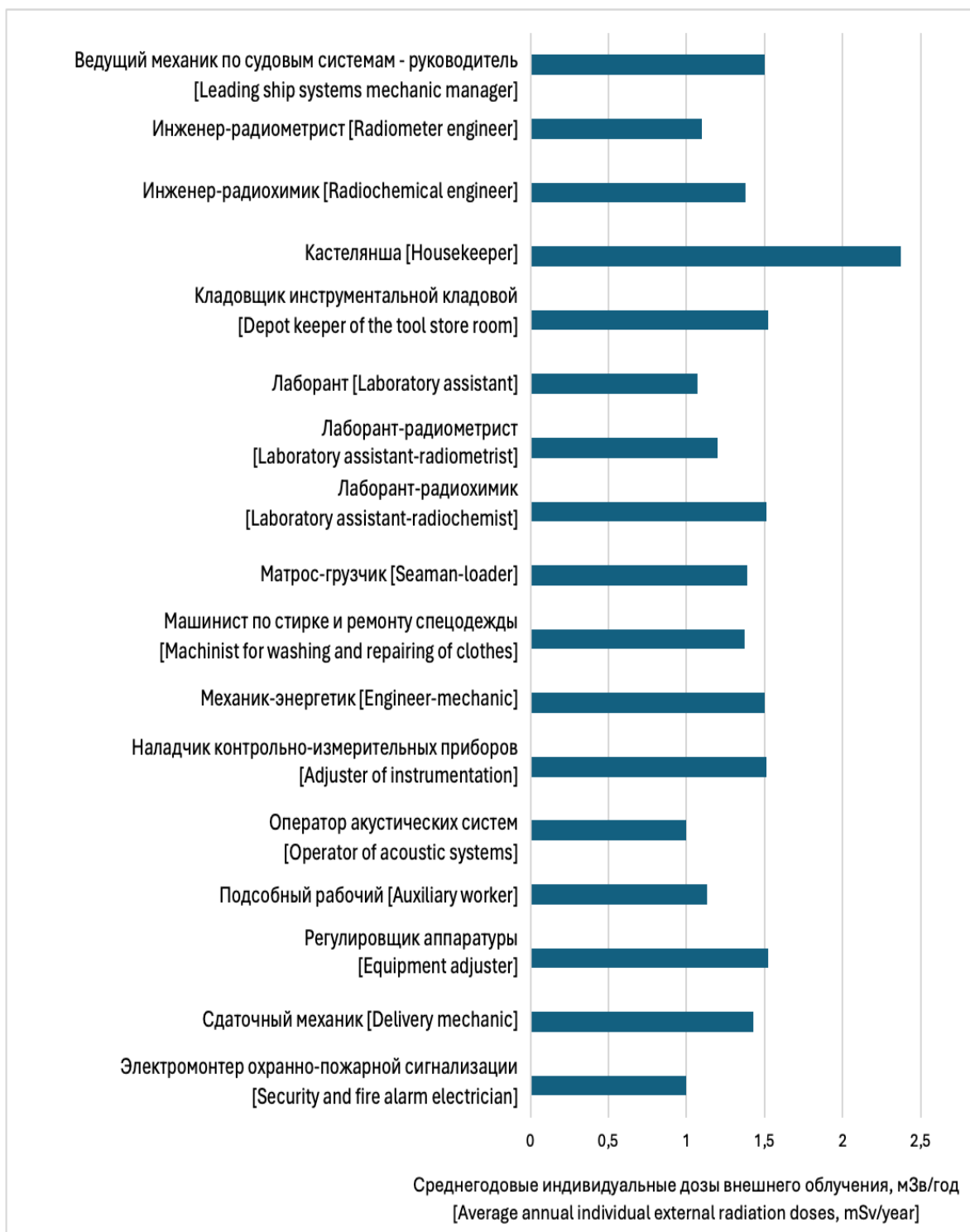


Рис. 3. Среднегодовые значения индивидуальных эффективных доз внешнего облучения вспомогательного персонала за 2016–2020 гг.

[Fig. 3. Yearly average individual effective doses of external exposure for support staff, 2016– 2020]

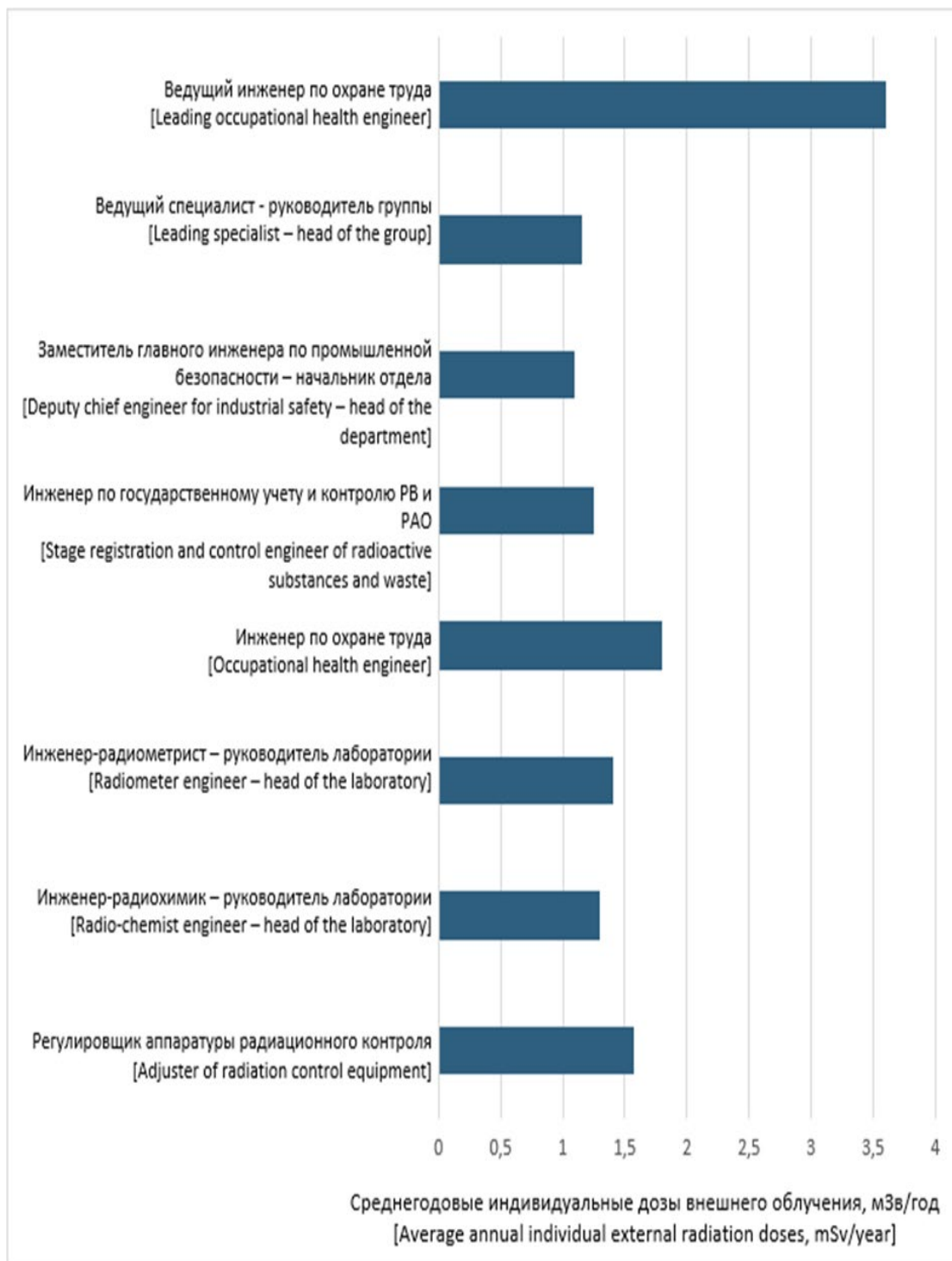


Рис. 4. Среднегодовые значения индивидуальных эффективных доз внешнего облучения административного персонала за 2016–2020 гг.

[Fig. 4. Yearly average individual effective doses of external exposure for administrative staff, 2016–2020]

Как видно из рисунков 2–4, наибольшие среднегодовые индивидуальные эффективные дозы внешнего облучения за последовательные пять лет были зарегистрированы у персонала следующих специальностей:

- дефектоскописты рентгено-, гамма-графирования (персонал основных профессий),
- кастелянши (вспомогательный персонал),
- ведущий инженер по охране труда (административный персонал).

Наиболее высокие среднегодовые индивидуальные эффективные дозы внешнего облучения были зафиксированы у дефектоскопистов рентгено-, гамма-графирования – 6,89 мЗв/год, что, тем не менее, не превышало основной дозовый предел облучения, установленного для персонала группы А<sup>6</sup>.

Учитывая, что индивидуальная доза облучения персонала зависит от объема и времени выполнения работ, связанных с источниками ионизирующего излучения, а их периодичность на предприятия атомного судоремонта в настоящее время носит не постоянный, а периодически характер, были рассчитаны максимально возможные дозы облучения ряда специалистов при их полной (максимальной) занятости на таких работах в течение года.

Результаты определения максимально возможных годовых индивидуальных доз внешнего облучения специалистов

отдельных профессиональных групп – «слесарь-монтажник» и «дефектоскопист» представлены в таблице.

Расчет показал, что при непрерывной полной загрузке персонала группы А на радиационно-опасных работах эти дозы могут превысить установленные нормативные пределы. Однако следует особо отметить, что в реальной производственной практике такие условия крайне редко реализуются. Работы с источниками ионизирующего излучения выполняются эпизодически, с перерывами, и сопровождаются мерами контроля и защиты, что существенно снижает полученные дозы.

Таким образом, результаты моделирования отражают скорее гипотетический «верхний предел» дозовой нагрузки, обеспечивая важный ориентир для оценки профессионального риска и планирования мероприятий по радиационной безопасности. Эти данные подтверждают, что при соблюдении существующих режимов работы фактическое облучение специалистов значительно ниже максимальных возможных и не превышает основных пределов доз. Однако, учитывая тенденции к увеличению необходимости проведения ремонтных работ АМО на предприятиях судоремонта, в том числе проведения радиационно-опасных работ, полученные данные могут служить неким ориентиром для обоснования дальнейшего совершенствования мер по обеспечению радиационной безопасности и охране здоровья персонала.

Таблица. Индивидуальные эквивалентные дозы внешнего облучения слесарей монтажников и дефектоскопистов судоремонтного предприятия за одну рабочую смену и расчетные потенциальные дозы их облучения на год

[Table. Individual equivalent doses of external radiation for fitter-installers and non-destructive testing inspectors at a ship repair factory during a single work shift, and estimated potential doses of radiation for the year]

Специальность [Specialization]	Эквивалентная доза внешнего облучения, мЗв [Equivalent dose of external radiation, mSv]					
	на все тело, мЗв [on the entire body, mSv]		на хрусталик, мЗв [on the lens, mSv]		на кожу кистей рук, мЗв [on the skin of the hands, mSv]	
	за смену <sup>1</sup> [per shift]	за год <sup>2</sup> [per year]	за смену <sup>1</sup> [per shift]	за год <sup>2</sup> [per year]	за смену <sup>1</sup> [per shift]	за год <sup>2</sup> [per year]
Слесарь-монтажник [Fitter-installer]	0,10 ± 0,02	24,29	0,04 ± 0,02	9,71	0,03 ± 0,01	7,29
Дефектоскопист [Non-destructive testing inspector]	0,32 ± 0,05	77,71	0,37 ± 0,08	89,86	2,20 ± 1,01	534,29

<sup>1</sup> Среднее значение со стандартным среднеквадратичным отклонением [Average value with standard deviation]

<sup>2</sup> Из расчета, что стандартное время облучения в течение календарного года – 1700 ч/год [Based on the calculation that the standard exposure time during a calendar year is 1700 hours/year]

### Заключение

В ходе исследования установлено, что на предприятиях судоремонта на рабочих местах основного, вспомогательного и административного персонала при выполнении всех этапов ремонта АМО в условиях отсутствия проведения радиационно-опасных работ и после дезактивации помещений уровни МАЭД не превышали допустимых уровней. На рабочем месте у цистерны с жидкими радиоактивными отходами МАЭД была статистически значимо выше ( $p \leq 0,001$ ), чем на остальных рабочих местах на высоте 0,1 и 1,0 м от пола, но не превышала  $6,75 \pm 0,04$  мкЗв/ч. Плотность потока бета-частиц на всех рабочих местах персонала была меньше 10 част./( $\text{см}^2 \times \text{мин}$ ).

В связи с зарегистрированными низкими значениями МАЭД в помещениях АМО, обусловленными конструктивными особенностями и экранирующим действием используемых материалов, при проведении дальнейших исследований необходимо применять более чувствительные методики измерения дозовых параметров. Это позволит повысить точность оценки радиационной обстановки и достоверность получаемых данных.

Высокие уровни МАЭД гамма-излучения регистрировались при проведении потенциально радиационно-опасных работ, обеспечивающих хранение первого контура и его дренирование, демонтаж исполнительных механизмов аварийной защиты и приводов компенсирующих групп. На технической площадке в зоне строгого режима они достигали

4,91 мкЗв/ч, в реакторном отсеке – 6,0 мкЗв/ч, при выполнении работ, связанных с хранением паропроизводящей установки с загруженными активными зонами реакторов в носовой и кормовой аппаратной выгородке и на технической площадке в зоне строгого режима, – 7,15 мкЗв/ч.

Анализ среднегодовых индивидуальных доз внешнего облучения персонала различных специальностей при выполнении работ, включая деятельность в ЗСР, показал, что они существенно различаются в зависимости от профессиональных обязанностей, характера и объема работ. Наибольшие среднегодовые индивидуальные эффективные дозы внешнего облучения за последовательные пять лет были зарегистрированы у дефектоскопистов рентгено-, гамма-графирования (6,89 мЗв/год).

Расчет максимально возможных годовых индивидуальных доз внешнего облучения специалистов отдельных профессиональных групп – «слесарь-монтажник» и «дефектоскопист», при полной производственной нагрузке, показал, что гипотетически существует риск превышения установленных пределов доз облучения, в том числе на хрусталик, что следует учитывать при дальнейшем совершенствовании мер по обеспечению радиационной безопасности и охране здоровья работников.

Таким образом, результаты исследования указывают, что на предприятии судоремонта выполняются мероприятия, обеспечивающие радиационную безопасность персонала. Для ее дальнейшего совершенствования, в том числе при повышенной производственной нагрузке, необходим дифференцированный подход к планированию работ по ремонту АМО с учетом специальности персонала, вида, характера, объема и условий выполнения радиационно-опасных работ, а также строгое соблюдение регламентов радиационной безопасности.

#### Сведения о личном вкладе авторов в работу над статьей

Кожухова Н.А. – координация работы участников исследования, организация экспедиционных работ, сбор и систематизация данных, обработка полученных результатов, написание и редактирование текста статьи.

Балтрукова Т.Б. – научное редактирование текста, проверка критически важного интеллектуального содержания, утверждение окончательного варианта рукописи.

Арефьева Д.В. – обработка и систематизация первичных материалов исследования, поиск литературных данных, написание и редактирование текста статьи.

#### 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 25.12.2024 № 388-00094-25-00.

#### Литература

1. Арефьева Д.В., Кожухова Н.А. Исследование факторов, влияющих на формирование радиационной обстановки при выполнении работ по ремонту атомных подводных лодок / Матер. 4-го Междунар. молодёжн. форума «Профессия и здоровье». Светлогорск, 05–07 июля 2022 года. Светлогорск: НКО АМТ, ФГБНУ «НИИ МТ», 2022. С. 11–15. DOI 10.31089/978-5-6042929-6-9-2022-1-11-15.
2. Шандала Н.К., Самойлов А.С., Серегин В.А. и др. Роль радиационной гигиены в обеспечении радиационной защиты и безопасности населения и персонала на примере деятельности ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2025. Т. 70, № 3. С. 34–47. – DOI 10.33266/1024-6177-2025-70-3-34-47.
3. Саркисов А.А., Гусев Л.Б., Калинин Р.И. Инженерные технологии теории и эксплуатации силовых ядерных реакторов. М.: Издательский дом МЭИ, 2011. 549 с.
4. Шепелин О.П. Гигиена труда в судоремонтной промышленности. М.: Медицина, 1979. 160 с.
5. Антонова К.П., Дынник В.И. Гигиена труда в судостроении. Киев: Здоров'я, 1987. 52 с.
6. Грабский Ю.В., Крупкин А.Б., Кожухова Н.А. и др. Гигиеническая характеристика производственной среды и анализ состояния здоровья персонала предприятия, осуществляющего ремонт атомных подводных лодок / Радиационная гигиена: итоги и перспективы: сб. науч. тр. СПб.: СЗГМУ им. И.И. Мечникова, 2022. С. 38–41.
7. Арефьева Д.В., Джикия Ю.В., Петушок А.В. Дозовые нагрузки на дефектоскопистов гаммаграфирования на предприятии по ремонту атомных подводных лодок / Ильинские чтения 2022: сб. матер. школы-конференции молодых учёных и специалистов. М., 2022. С. 25–27.
8. Балтрукова Т.Б., Арефьева Д.В., Шаяхметова А.А. и др. Оценка доз облучения персонала при проведении радионуклидной дефектоскопии на предприятии атомного судоремонта // Medline.ru. Российский биомедицинский журнал. 2023. Т. 24, № 1. С. 260–269.
9. Шлеенкова Е.Н., Голиков В.Ю., Кайдановский Г.Н. и др. Результаты контроля доз облучения хрусталиков глаз у медицинского персонала г. Санкт-Петербурга // Радиационная гигиена. 2019. Т. 12, № 4. С. 29–36.
10. Кайдановский Г.Н., Шлеенкова Е.Н., Бажин С.Ю. и др. Инструментальное исследование доз облучения и условий работы персонала рентгенохирургических бригад // Радиационная гигиена. 2023. Т. 16, № 4. С. 148–157.
11. Кайдановский Г.Н., Шлеенкова Е.Н. О проблемах контроля доз облучения хрусталика глаза // Радиационная гигиена. 2016. Т. 9, № 3. С. 75–80.

Поступила: 21.10.2025

**Кожухова Наталья Александровна** – исполняющая обязанности заведующего лабораторией № 2 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: lab2niipmm@yandex.ru  
ORCID: 0000-0002-6223-0173

**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

**Арефьева Дарья Владимировна** – исполняющая обязанности заведующего лабораторией № 1 Научно-исследовательского института промышленной и морской медицины Федерального медико-биологического агентства, Санкт-Петербург, Россия  
ORCID: 0000-0002-3879-8594

**Для цитирования:** Кожухова Н.А., Балтрукова Т.Б., Арефьева Д.В. Особенности облучения персонала при выполнении работ по ремонту атомных морских объектов // Радиационная гигиена. 2026. Т. 19, № 1. С. 34–43. DOI: 10.21514/1998-426X-2026-19-1-34-43

---

## The specifics of personnel exposure during the repair of nuclear maritime facilities

Natalya A. Kozhukhova, Tatyana B. Baltrukova, Darya V. Arefyeva

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

*The development strategy for Russia's shipbuilding industry anticipates a multi-fold increase in the capacity of ship repair enterprises servicing nuclear maritime facilities, which underscores the need to enhance radiation safety for personnel. The aim of the study was to determine the conditions and levels of occupational radiation exposure at the workplaces of various personnel categories at a nuclear ship repair enterprise, including under increased production loads. Materials and methods: The study was conducted at a major nuclear ship repair facility. The ambient dose equivalent rate of gamma radiation and beta contamination levels were measured at workplaces of main, auxiliary, and administrative personnel (Group A). Data from the plant's radiation monitoring and five-year statistical reports on individual doses (Form No. 1-DOZ, 2016–2020) were analyzed. Individual thermoluminescent dosimeters were used to estimate potential maximum doses. Results and discussion: During periods when no radiation-hazardous work was being performed, the ambient dose equivalent rate at most workplaces did not exceed background levels (0,16 µSv/h), except near a tank with liquid radioactive waste (up to 6,75 µSv/h). During potentially hazardous operations (primary circuit maintenance, dismantling of safety mechanisms), the ambient dose equivalent rate reached 4,91–7,15 µSv/h. The highest five-year average individual effective doses were recorded for flaw detection inspectors (6,89 mSv/year). Calculations for a hypothetical scenario of full workload revealed a potential risk of exceeding dose limits for certain occupations (fitter-installer, flaw detection inspector), especially for the lens of the eye. Conclusion: Radiation exposure conditions for personnel vary significantly depending on profession and type of work. To ensure radiation safety, a differentiated approach to planning repair work is required, taking into account personnel specialty, the nature of operations, and strict adherence to safety protocols, especially during high-load periods and for high-risk groups.*

**Key words:** personnel, ionizing radiation exposure, nuclear ship repair enterprises, nuclear maritime facilities, radiation safety, radiation dose.

### Authors' personal contribution

Kozhukhova N.A. – coordination of the research participants, organization of expedition work, collection and systematization of data, processing of the obtained results, writing and editing of the article text.

Baltrukova T.B. – scientific editing of the text, verification of critically important intellectual content, approval of the final version of the manuscript.

Arefyeva D.V. – processing and systematization of the primary research materials, search for literary data, writing and editing of the article text.

### 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. 388-00094-25-00 dated 12/25/2024.

### References

1. Arefyeva DV, Kozhukhova NA. Investigation of factors influencing the formation of radiation environment during repair work on nuclear submarines // Proceedings of the 4th International Youth Forum "PROFESSION and HEALTH". Svetlogorsk: NPO AMT, FGBNU "Research Institute of Medical Technologies"; 2022. P. 11-15. DOI 10.31089/978-5-6042929-6-9-2022-1-11-15. (In Russian).
2. Shandala NK, Samoilov AS, Seregin VA, Kiselev SM, Kvacheva YuE, Metlyayev EG, et al. The role of radiation hygiene in ensuring radiation protection and safety of the population and personnel based on the example of the

---

**Natalya A. Kozhukhova**

Scientific Research Institute of Industrial and Marine Medicine

**Address for correspondence:** 65, Yuri Gagarin Avenue, Saint Petersburg, 196143, Russia; E-mail: lab2niipmm@yandex.ru

- activities of the FSBI SSC FMBC named after A.I. Burnazyan FMBA of Russia. *Meditsinskaya Radiologiya i Radiatsionnaya Bezopasnost' = Medical Radiology and Radiation Safety*. 2025;70(3): 34–47. DOI 10.33266/1024-6177-2025-70-3-34-47. (In Russian).
3. Sarkisov AA, Gusev LB, Kalinin RI. Engineering technologies of theory and operation of power nuclear reactors. Moscow: Publishing House of MEI; 2011. 549 p. (In Russian).
  4. Shepelin OP. Occupational health in ship repair industry. Moscow: Meditsina; 1979. 160 p. (In Russian).
  5. Antonova KP, Dynnik VI. Occupational health in shipbuilding. Kiev: Zdorov'ya; 1987. 52 p. (In Russian).
  6. Grabsky YuV, Krupkin AB, Kozhukhova NA, Trofimchuk SN, Arefyeva DV, Morozov DYu. Hygienic characteristics of the working environment and analysis of the health status of personnel at an enterprise repairing nuclear submarines // *Radiation Hygiene: Results and Prospects: Collection of Scientific Papers*. Saint Petersburg: N.W. State Medical University named after I.I. Mechnikov, 2022. P. 38-41. (In Russian).
  7. Arefyeva DV, Dzhikiya YuV, Petushok AV. Dose loads on gamma radiographers at a nuclear submarine repair enterprise. *Ilyinsky Readings 2022: Collection of Materials of the School-Conference of Young Scientists and Specialists*. Moscow; 2022. P. 25-27. (In Russian).
  8. Baltrukova TB, Arefyeva DV, Shayakhmetova AA, et al. Assessment of personnel radiation doses during radionuclide flaw detection at a nuclear ship repair enterprise // *Medline.Ru. Rossiyskiy Biomeditsinskiy Zhurnal = Medline.Ru. Russian Biomedical Journal*. 2023. T. 24, № 1. C. 260-269. (In Russian).
  9. Shleenkova EN, Golikov VYu, Kaidanovsky GN, Dzhikiya YuV, Petushok AV. Results of Lens Dose Monitoring Among Medical Personnel in St. Petersburg // *Radiatsionnaya Gigiena = Radiation Hygiene*. 2019;12(4): 29–36. (In Russian).
  10. Kaidanovsky GN, Shleenkova EN, Bazhin SYu, Ilyin VA, Tarita VA, Firsanov VB. Instrumental Study of Radiation Doses and Working Conditions of X-ray Surgery Team Personnel. *Radiatsionnaya Gigiena = Radiation Hygiene*. 2023;16(4): 148–157. (In Russian).
  11. Kaidanovsky GN, Shleenkova EN. On the Problems of Lens Dose Monitoring // *Radiatsionnaya Gigiena = Radiation Hygiene*. 2016;9(3): 75–80. (In Russian).

Received: October 21, 2025

**For correspondence: Natalya A. Kozhukhova** – Acting Head of Laboratory No. 1, Scientific Research Institute of Industrial and Marine Medicine of the Federal Medical and Biological Agency (65, Yuri Gagarin Avenue, Saint Petersburg, 196143, Russia; E-mail: lab2niipmm@yandex.ru)

ORCID: 0000-0002-6223-0173

**Tatyana B. Baltrukova** – Doctor of Medical Sciences, Professor, Leading Researcher at Laboratory No. 2, Scientific Research Institute of Industrial and Marine Medicine of the Federal Medical and Biological Agency, Saint Petersburg, Russia

ORCID: 0000-0002-8726-7044

**Darya V. Arefieva** – Acting Head of Laboratory No. 1, Scientific Research Institute of Industrial and Marine Medicine of the Federal Medical and Biological Agency, Saint Petersburg, Russia

ORCID: 0000-0002-3879-8594

**For citation: Kozhukhova N.A., Baltrukova T.B., Arefyeva D.V. The specifics of personnel exposure during the repair of nuclear maritime facilities. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2026. Vol. 19, No. 1. P. 34–43. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2026-19-1-34-43**