



Научная статья

## АНАЛИЗ РИСКА ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ РАДИАЦИОННЫХ И ХИМИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ В РАЙОНЕ РАСПОЛОЖЕНИЯ ОБЪЕКТА ЯДЕРНОГО НАСЛЕДИЯ

**С.М. Киселев, Н.К. Шандала, Т.Н. Лашенцова, Ю.Н. Зозуль, В.В. Шлыгин, Т.И. Гимадова, А.Н. Малахова**

Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна ФМБА России, Россия, 123182, г. Москва, ул. Живописная, 46

*В рамках реабилитации объектов ядерного наследия на северо-западе России осуществляется вывод из эксплуатации бывшей береговой технической базы ВМФ России на полуострове Гремиха Мурманской области (ЗАО г. Островной). В настоящее время на предприятии осуществляется извлечение отработавшего ядерного топлива из корабельных реакторов с жидкометаллическим теплоносителем, обращение с радиоактивными отходами, накопленными в ходе предыдущей деятельности. Особенности текущей производственной деятельности определяют комплексный характер воздействия на окружающую среду, обусловленный загрязнителями как радиационной, так и нерадиационной природы.*

*Настоящая работа посвящена исследованию гигиенической обстановки, сложившейся на территории проживания населения в районе расположения объекта ядерного наследия. В целом радиационная обстановка на селитебной территории, обусловленная загрязнителями техногенной природы, формируется радионуклидами  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$ .*

*Как показали наши исследования, в настоящий момент их содержание в объектах окружающей среды соответствует фоновым показателям, характерным для данного региона. Химическое загрязнение территории проживания населения характеризуется повышенным содержанием тяжелых металлов (Cd, As, Pb, V, Zn, Cu и т.д.) в почвах городской среды по сравнению с фоновыми показателями. Выявлено превышение ПДК Pb, ОДК Zn. По суммарному показателю загрязненности почвы тяжелыми металлами (Zc) большая часть жилой территории относится к категории «допустимая». Канцерогенный риск по радиационным и химическим факторам для населения селитебной зоны составляет менее  $10^{-6}$ .*

*Результаты исследований позволяют охарактеризовать сложившуюся гигиеническую обстановку как нормальную и заключить, что при проведении работ по выводу из эксплуатации объектов СЗЦ «СевРАО» (отд. Гремиха) производственная деятельность не оказывает негативного влияния на состояние окружающей среды и здоровье населения, проживающего в районе его расположения. Полученные данные являются основой для уровней контроля при проведении мониторинговых исследований состояния окружающей среды в ходе проведения работ по восстановлению загрязненных территорий объектов ядерного наследия.*

**Ключевые слова:** радиационно опасные объекты, ядерное наследие, СЗЦ «СевРАО», Гремиха, канцерогенный риск, техногенные радионуклиды, тяжелые металлы, гигиеническая оценка, здоровье населения.

© Киселев С.М., Шандала Н.К., Лашенцова Т.Н., Зозуль Ю.Н., Шлыгин В.В., Гимадова Т.И., Малахова А.Н., 2021

**Киселев Сергей Михайлович** – кандидат биологических наук, заведующий лабораторией регулирующего надзора за объектами ядерного наследия (e-mail: sergbio@gmail.com; тел.: 8 (985) 761-10-17; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2613-2293>).

**Шандала Наталья Константиновна** – доктор медицинских наук, заместитель генерального директора (e-mail: shandala-fmbc@bk.ru; тел.: 8 (499) 190-93-29; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1290-3082>).

**Лашенцова Татьяна Николаевна** – доктор биологических наук, кандидат химических наук, ведущий научный сотрудник (e-mail: tlaschenova@yandex.ru; тел.: 8 (910) 404-91-10; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6682-1261>).

**Зозуль Юлия Николаевна** – кандидат биологических наук, научный сотрудник (e-mail: julnik@list.ru; тел.: 8 (985) 920-39-83; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3154-1806>).

**Шлыгин Владимир Васильевич** – младший научный сотрудник (e-mail: vladvas83@mail.ru; тел.: 8 (499) 190-94-18; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1190-9557>).

**Гимадова Тамара Ивановна** – старший научный сотрудник (e-mail: tamara.gimadova@icloud.com; тел.: 8 (499) 190-96-65; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9144-2610>).

**Малахова Анна Николаевна** – инженер (e-mail: lawbro@yandex.ru; тел.: 8 (499) 190-96-65; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3868-3671>).

В соответствии с Основами государственной политики в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности Российской Федерации, утвержденными Президентом Российской Федерации в 2018 г.<sup>1</sup>, реализуется комплекс мероприятий по реабилитации объектов ядерного наследия. К ним относятся объекты использования ядерной энергии в мирных и военных целях, которые были созданы до установления современных требований к обеспечению ядерной и радиационной безопасности, в том числе объекты, эксплуатация которых по функциональному назначению прекращена и которые находятся в стадии вывода из эксплуатации, захоронения, утилизации.

Оценка потенциального техногенного воздействия ядерно- и радиационно опасных объектов на человека и окружающую среду является одним из социально значимых факторов и служит предметом исследования различных проектов, в том числе международных<sup>2</sup> [1–5].

Сравнительный анализ потенциальной опасности источников внешнего воздействия и оценка вероятности возникновения неблагоприятных последствий для человека и окружающей среды базируются на применении риск-ориентированного подхода, являющегося современным инструментом управления качеством среды и здоровьем человека [6–9]. Современная методология оценки риска основана на изучении и анализе всех факторов воздействия на окружающую среду и опосредованно на человека, причем оценка риска проводится и при их раздельном и совместном воздействии на человека и экосистемы. Результаты оценки являются основой для последующего сравнительного анализа и управления рисками, позволяющими существенно оптимизировать процесс вывода из эксплуатации объектов ядерного наследия и реабилитации территорий их нахождения [10–14].

Предметом настоящей работы является гигиеническая оценка состояния окружающей среды и исследование потенциального воздействия осуществляемой производственной деятельности по выводу из эксплуатации объекта ядерного наследия – бывшей береговой технической базы (БТБ) военноморского флота России на северо-западе (Мурманская область) – на население, проживающее в районе его расположения. В 1958 г. на полуострове Грехиха была создана БТБ, где осуществлялась перезарядка корабельных реакторов, дислоцированных на полуострове атомных подводных лодок (АПЛ) с водяным и жидкометаллическим теплоносителем, проведение их доковых осмотров и ремонтов. В процессе эксплуатации на территории пред-

приятия накопились существенные объемы отработавшего ядерного топлива (ОЯТ) и радиоактивных отходов (РАО) с суммарной активностью  $13 \cdot 10^{15}$  Бк [15]. В конце 80-х гг. после перебазирования дивизиона АПЛ и вывода воинского контингента БТБ оказалась невостребованной, что привело к деградации инфраструктуры объекта, нарушению инженерных барьеров хранилищ ОЯТ и РАО с последующей миграцией техногенных радионуклидов в окружающую среду. Для обеспечения безопасности населения и предотвращения дальнейшего загрязнения природной среды объект был передан в ведение государственной корпорации «Росатом» для вывода из эксплуатации и экологической реабилитации загрязненных территорий. На базе бывшей БТБ создан филиал северо-западного центра по обращению с радиоактивными отходами «СевРАО» Федерального государственного унитарного предприятия РосРАО (с 2020 г. – «Федеральный экологический оператор») (отделение Грехиха). В настоящее время на предприятии осуществляются работы по разборке отработавших выемных частей реакторов АПЛ с жидкометаллическим теплоносителем; обращение с высокоактивными РАО, хранящимися на открытой площадке, с последующей транспортировкой ОЯТ на переработку (ПО «Маяк») и РАО для долговременного хранения на ПДХ РО Сайда-губа. По завершении вывоза ОЯТ и РАО планируется реабилитация загрязненных территорий и реализация конечного состояния объекта в соответствии со сценарием «коричневой лужайки», при которой на территории отсутствуют радиоактивные отходы и допустимо строительство промышленных объектов. Учитывая специфику производственной деятельности, объект относится к первой категории радиационной опасности, в соответствии с которой его территория разделена на три зоны – зона контролируемого доступа, санитарно-защитная зона и зона наблюдения, в которых оператором осуществляется контроль радиационной обстановки согласно установленному регламенту.

Особенности прошлой деятельности при использовании объектов по прямому назначению, а также текущего производственного процесса по выводу их из эксплуатации позволяют полагать потенциальное загрязнение окружающей среды целым комплексом загрязнителей, включающих вещества как радиационной, так и нерадиационной природы [16, 17]. К загрязнителям нерадиационной природы относится целый спектр неорганических и органических загрязнителей, в том числе тяжелые металлы, присутствующие в выбросах на площадках газорезательных, сварочных,

<sup>1</sup> Об утверждении Основ государственной политики в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности Российской Федерации на период до 2025 года и дальнейшую перспективу: Указ Президента РФ от 13 октября 2018 г. № 585 [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/43631> (дата обращения: 10.07.2020).

<sup>2</sup> Assessing the Long Term Safety of Radioactive Waste Management. Regulatory Guide G-320. – Ottawa, Ontario: Canadian Nuclear Safety Commission December, 2006. – 41 p.

покрасочных и дезактивационных работ, на современном этапе реабилитации объектов ядерного наследия. Учитывая данные обстоятельства, перед авторами стояла задача оценить санитарно-гигиеническое состояние территории по радиационным и химическим факторам на современном этапе производственной деятельности, применив риск-ориентированный подход, выявить степень риска для здоровья населения при проживании на территории полуострова Гремиха в настоящее время.

**Цель исследования** – комплексная оценка риска здоровью населения полуострова Гремиха по радиационным и химическим факторам в районе размещения объекта ядерного наследия СЗЦ «СевРАО» ФЭО (отделение Гремиха) в процессе вывода его из эксплуатации.

**Материалы и методы.** Измерения, отбор и анализ проб в рамках исследования проведены в соответствии со стандартными методиками аккредитованного испытательного лабораторного центра ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна (аттестат RA.RU.21БУ01).

Математическая обработка результатов осуществлялась посредством MS Excel 2016. В связи с тем что распределение измеренных значений не соответствует нормальному и логнормальному, в качестве показателя центральной тенденции использована медиана и границы ее доверительного интервала при  $P = 0,95$  в соответствии с ГОСТ Р ИСО 16269-7-2004<sup>3</sup>. В соответствии с принципом консервативности минимальные и максимальные значения, а также границы доверительного интервала медианы приведены с запасом на расширенную неопределенность измерений.

*Оценка радиационной обстановки* на местности осуществлена методом пешеходной гамма-съемки с измерением мощности амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения (МАЭД) (МКС-01А «Мультирад-М»).

Лабораторные исследования радионуклидного состава и удельной активности техногенных радионуклидов выполнены методами спектрометрии (гамма-спектрометр CANBERRA с полупроводниковым германиевым детектором, США) и радиометрии (радиометр УМФ-2000, Россия) с применением предварительных методов радиохимического выделения радионуклидов.

Оценка доз облучения населения проведена согласно рекомендациям Международной комиссии по радиологической защите (МКРЗ) и Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ) для ситуации фактического радиационного воздействия на население с учетом регионального радиационного фона<sup>4</sup> [18]. Годовая доза облучения населения рассчитана согласно НРБ-99/2009<sup>5</sup> как сумма доз внешнего облучения за текущий год и ожидаемой дозы до 70 лет вследствие поступления радионуклидов в организм за текущий год.

Консервативная оценка средней годовой эффективной дозы (далее СГЭД) внешнего облучения населения на местности и в жилых домах выполнена по результатам экспонирования термомолюминесцентных дозиметров (ТЛ-дозиметры) с детекторами на основе фтористого лития (ДТГ-4) в тканеэквивалентной кассете толщиной 1 г/см<sup>2</sup>.

Доза внутреннего облучения за счет перорального поступления радионуклидов с водой рассчитана по удельной активности техногенных радионуклидов согласно МР 2.6.1.0063-12<sup>6</sup>:

$$E_{i,k}^{\text{int}} = \sum_k \sum_j (e_i^k \cdot V_{i,j} \cdot S_{k,j}), \quad (1)$$

где  $e_i^k$ , мЗв/Бк – зависящий от возраста дозовый коэффициент для  $k$ -го радионуклида в случае его перорального поступления в организм человека, НРБ-99/2009;

$V_{i,j}$ , кг/г – годовое потребление  $j$ -го продукта (питьевая вода – 730 л);

$S_{k,j}$ , Бк/кг – среднегодовая удельная активность  $k$ -го радионуклида в  $j$ -м пищевом продукте.

*Оценка содержания тяжелых металлов* выполнена на основе результатов исследования проб почвы и питьевой воды методом атомно-абсорбционной спектрометрии («Квант 2АТ», Россия). Из спектра определенных элементов в работе представлены данные по содержанию тяжелых металлов, присутствующих в пробах в значимых количествах.

Оценка уровня химического загрязнения почв проведена на основе ПДК<sup>7</sup>/ОДК<sup>8</sup>, коэффициента концентрации химического вещества относительно регио-

<sup>3</sup> ГОСТ Р ИСО 16269-7-2004. Статистические методы. Статистическое представление данных. Медиана. Определение точечной оценки и доверительных интервалов [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200035332> (дата обращения: 10.07.2020).

<sup>4</sup> Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards, IAEA Safety Standards Series No. General Safety Requirements, Part 3. No GSR-3. – Vienna: IAEA, 2014. – 477 p.

<sup>5</sup> Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009). Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПин 2.6.1.2523-09. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. – 100 с.

<sup>6</sup> МР 2.6.1.0063-12. Контроль доз облучения населения, проживающего в зоне наблюдения радиационного объекта, в условиях его нормальной эксплуатации и радиационной аварии [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200095229> (дата обращения: 10.07.2020).

<sup>7</sup> ГН 2.1.7.2041-06. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/901966754> (дата обращения: 10.07.2020).

<sup>8</sup> ГН 2.1.7.2511-09. Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/901966754> (дата обращения: 10.07.2020).

нального фона ( $K_c$ ) и суммарного показателя загрязнения ( $Z_c$ ) согласно МУ 2.1.7.730-99<sup>9</sup>. Коэффициент концентрации  $K_c$  определяется отношением фактического содержания определяемого вещества в почве ( $C_i$ ) в мг/кг почвы к региональному фоновому ( $C_{fi}$ ):

$$K_c = C_i / C_{fi}. \quad (2)$$

Суммарный показатель загрязнения равен сумме коэффициентов концентрации химических элементов-загрязнителей:

$$Z_c = \Sigma (K_{ci} + \dots + K_{cn}) - (n-1), \quad (3)$$

где  $n$  – число определяемых суммируемых веществ;  $K_{ci}$  – коэффициент концентрации  $i$ -го компонента загрязнения.

При оценке уровня химического загрязнения питьевой воды использованы ПДК согласно СанПиН 2.1.4.1074-01<sup>10</sup>, ГН 2.1.5.1315-03<sup>11</sup>.

*Риск от воздействия радиационного фактора* на основе СГЭД рассчитан с использованием линейного коэффициента риска злокачественных новообразований для всего населения  $5,5 \cdot 10^{-2}$  в соответствии с требованиями НРБ-99/2009. Согласно рекомендациям Росгидромета Р 52.18.787-2013<sup>12</sup> по удельному содержанию техногенных радионуклидов в почве и питьевой воде оценен риск по путям облучения.

*Риск здоровью населения от воздействия тяжелых металлов* выполнен согласно руководству Р 2.1.10.1920-04<sup>13</sup>. Расчет индивидуального канцерогенного риска проведен по сценарию постоянного проживания с использованием данных о величине экспозиции и установленных значений факторов канцерогенного потенциала, характеризующих дополнительный индивидуальный канцерогенный риск или степень увеличения вероятности развития рака при накожном, ингаляционном и пероральном путях поступления канцерогенов.

**Результаты и их обсуждение. Характеристика объекта и территории его расположения.** Характеристика современного состояния СЗЦ «СевРАО» ФЭО (отделение Гремиха) на данном этапе вывода из эксплуатации проводилась прежде всего по данным экологических отчетов за 2017–2019 гг. Данные свидетельствуют, что предприятие на данном этапе не производит сбросов радионуклидов в водные объекты и выбросов радионуклидов в атмосферный воздух.

На территории площадки существуют локальные участки поверхностного и глубинного загрязнения грунта. Мощность дозы гамма-излучения на открытой местности варьируется в диапазоне  $0,05 \div 150$  мкЗв/ч (медиана –  $0,44$  мкЗв/ч). Основными техногенными радионуклидами в объектах окружающей среды (грунт, водоросли, донные отложения) являются  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$ , в следовых концентрациях обнаруживается  $^{154}\text{Eu}$  (грунт) и  $^3\text{H}$  (грунтовые воды). В подземных водах наряду с  $^{90}\text{Sr}$  и  $^3\text{H}$  отмечается наличие тяжелых металлов в концентрациях, превышающих ПДК: грунтовые воды – Cd и Tl, подземные воды – Cd, Ni, Al, Mn, Zn. Химическое загрязнение грунта гетерогенно и представлено Pb, Ni, Cu, Zn, V, Cd, As [19].

Поэтому при анализе санитарно-гигиенической обстановки на территориях проживания населения в настоящее время в районе размещения объекта ядерного наследия основное внимание уделено почве как объекту окружающей среды, отражающему долгосрочное фактическое воздействие техногенного фактора, и питьевой воде как основному источнику, формирующему дозу внутреннего облучения.

*В зоне наблюдения радиационного объекта (отделение Гремиха)* расположено закрытое административно-территориальное образование г. Островной, включающий два микрорайона – мкр. Гремиха и мкр. Островной, расположенные в 1–2 км от промплощадки. Численность населения по данным 2019 г. составляет 1842 человека [20]. Население проживает в многоэтажных панельных и кирпичных домах с центральным водопроводом. Водообеспечение для питьевых и хозяйственных нужд осуществляется из поверхностного озера (озеро Змей), расположенного на удалении 4 км от селитебной зоны. Рельеф исследуемой местности сильнопересеченный, характеризуется выходами скальных пород, многочисленными озерами и болотами. В силу суровых климатических условий и бедноты почв, основной растительностью являются лишайники, низкорослые березы, кустарник. Природные условия территории не позволяют заниматься сельским хозяйством и животноводством. Жизнеобеспечение населения осуществляется морским транспортом и вертолетами. Рацион питания населения определяется привозными продуктами.

<sup>9</sup> МУ 2.1.7.730-99. Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200003852> (дата обращения: 10.07.2020).

<sup>10</sup> СанПиН 2.1.4.1074-01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Гигиенические требования к обеспечению безопасности систем горячего водоснабжения. Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/901798042> (дата обращения: 10.07.2020).

<sup>11</sup> ГН 2.1.5.1315-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/901862249> (дата обращения: 10.07.2020).

<sup>12</sup> Р 52.18.787-2013. Методика оценки радиационных рисков на основе данных мониторинга радиационной обстановки. – Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2014. – 116 с.

<sup>13</sup> Р 2.1.10.1920-04. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200037399> (дата обращения: 10.07.2020).

Таблица 1

## Результаты измерения МАЭД в районе размещения СЗЦ «СевРАО»

Территория	Количество измерений	МАЭД, мкЗв/ч		
		минимум	максимум	медиана
Фоновый район	131	0,06	0,20	0,11 (0,07–0,15)
Мкр. Островной	6538	0,06	0,21	0,07 (0,05–0,10)
Мкр. Гремиха	3224	0,05	0,16	0,07 (0,05–0,10)

Таблица 2

Удельная активность техногенных радионуклидов в атмосферном воздухе на территории Мурманской области в 2019 г.<sup>16</sup>

Радионуклид	Удельная активность, Бк/м <sup>3</sup>		
	среднее	максимальное	ДОА
<sup>137</sup> Cs	$7,8 \cdot 10^{-6}$	$18,8 \cdot 10^{-6}$	27
<sup>90</sup> Sr	$6,3 \cdot 10^{-6}$	$9,9 \cdot 10^{-6}$	2,7

**Оценка радиационной обстановки в зоне наблюдения. Мощность дозы гамма-излучения.** Значения МАЭД в мкр. Гремиха и мкр. Островной соответствуют уровню регионального фона (табл. 1), изменяясь в пределах колебаний естественного радиационного фона по Мурманской области<sup>14</sup> (0,06–0,23 мкЗв/ч).

**Содержание техногенных радионуклидов в объектах окружающей среды.** Основными дозообразующими техногенными радионуклидами являются <sup>137</sup>Cs и <sup>90</sup>Sr. Результаты лабораторного контроля внешней среды предприятия<sup>15</sup> показывают, что содержание аэрозолей радионуклидов в атмосферном воздухе не превышает значений ДОА, установлен-

ных НРБ-99/2009, что подтверждают данные Радиационно-гигиенического паспорта территории Мурманской области за 2019 г. (табл. 2).

Удельная активность <sup>137</sup>Cs и <sup>90</sup>Sr в почве на территории селитебной зоны находится на уровне регионального фона (табл. 3). В непосредственной близости к району расположения СЗЦ «СевРАО» грунты по содержанию техногенных радионуклидов удовлетворяют требованиям неограниченного использования твердых материалов  $A_{ни}$  согласно ОСПОРБ-99/2010<sup>17</sup>.

Вода озера Змей, поверхностного источника водоснабжения, по содержанию техногенных радионуклидов соответствует требованиям качества питьевой воды. Удельная активность <sup>137</sup>Cs и <sup>90</sup>Sr на три порядка ниже уровня вмешательства, регламентированного НРБ-99/2009 (табл. 3).

**Дозы облучения населения.** Согласно проектной документации в режиме нормальной эксплуатации объекта за пределами его промплощадки максимальная ожидаемая годовая эффективная доза облучения населения, рассчитанная по фактическим выбросам, составит 16,34 мкЗв, что существенно ниже установленной для предприятия квоты предела

Таблица 3

## Удельная активность техногенных радионуклидов в почве и воде озера в районе размещения СЗЦ «СевРАО» отд. Гремиха

Объект / территория	Удельная активность, Бк/кг					
	<sup>137</sup> Cs			<sup>90</sup> Sr		
	кол-во изм.	максимум	медиана	кол-во изм.	максимум	медиана
Почва	$A_{ни} = 100$			$A_{ни} = 1000$		
Фоновый район	4	16	8 (4–12)	4	10	0,2 (0,2–0,5)
Мкр. Островной	8	29	9 (1–13)	5	1	0,4 (0,2–0,9)
Мкр. Гремиха	13	31	11 (1–25)	5	0,5	0,3 (0,2–0,6)
Вода	УВ = 11			УВ = 4,9		
Вода оз. Змей	2	0,003	0,003	2	<0,001	<0,001

<sup>14</sup> Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 2018 году: ежегодник. – Обнинск, 2019. – 324 с.

<sup>15</sup> Отчет по экологической безопасности Северо-Западного центра по обращению с радиоактивными отходами – филиала федерального государственного унитарного предприятия «Предприятие по обращению с радиоактивными отходами «РосРАО» (СЗЦ «СевРАО» – филиала ФГУП «РосРАО») за 2018 год. – 2018. – 32 с.

<sup>16</sup> Радиационно-гигиенический паспорт территории по Мурманской области за 2019. – Мурманск, 2019. – 11 с.

<sup>17</sup> СП 2.6.1.2612-10. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010) [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/902214068> (дата обращения: 10.07.2020).

дозы 100 мкЗв<sup>18</sup>. За пределами санитарно-защитной зоны приземные концентрации загрязняющих веществ, оцененные по качественному и количественному составу выбросов в атмосферный воздух, соответствуют СанПиН 2.1.6.1032-01<sup>19</sup>. Поэтому основными путями облучения населения являются внешнее и внутреннее облучение за счет потребления питьевой воды.

СГЭД внешнего облучения по данным ТЛ-дозиметров (табл. 4) не превышает 1,63 мЗв при медианном значении 0,98 мЗв. Доза внешнего облучения населения в домах соответствует значениям на открытой местности.

С учетом стандартного времени пребывания в домах (6600 ч) и на открытой местности (2200 ч) медианное значение СГЭД внешнего облучения составило 0,85 мЗв, изменяясь от 0,40 до 1,58 мЗв.

СГЭД внешнего облучения от техногенных источников за вычетом регионального радиационного фона, обусловленного преимущественно природными источниками и техногенным радиационным фоном за счет глобальных выпадений, составляет 10 мкЗв.

СГЭД внутреннего облучения за счет поступления техногенных радионуклидов с питьевой водой из озера Змей составляет 0,02 мкЗв.

Суммарная СГЭД внешнего и внутреннего облучения от техногенных источников составляет для населения 10 мкЗв и не превышает предела дозы, установленного НРБ-99/2009.

**Содержание тяжелых металлов в почвах городской среды и питьевой воде.** Исследование содержания тяжелых металлов в почвах городской среды мкр. Островной и Гремиха и питьевой воде озера Змей проведено для элементов всех классов химической опасности.

Показано, что в почве содержание металлов 1-го (Pb, As, Cd, Zn) и 2-го (Ni, Cu, Cr) классов опасности превышает фоновые значения в почвах данного региона (табл. 5). Гигиеническая оценка содержания тяжелых металлов показала, что наблюдается превышение допустимого в почве содержания Pb до 7 ПДК, Zn до 9 ОДК. По значению суммарного показателя концентрации Zc почвы большей части территории относятся к категории загрязнения «допустимая» (Zc < 16). Максимальное значение Zc = 28, характеризующее загрязнение почвы как «умеренно опасное», обусловлено повышенным содержанием Pb, Cd, Zn (табл. 5).

В воде озера в значимых количествах присутствуют следующие металлы: Al (0,011 ± 0,004 мг/л), Fe (0,03 ± 0,01 мг/л) и Mn (1,0 ± 0,3 мг/л); превышений ПДК не обнаружено. Присутствие элементов первого класса опасности в значимых содержаниях не выявлено. Вода озера по содержанию тяжелых металлов удовлетворяет требованиям качества питьевой воды.

Таблица 4

СГЭД внешнего облучения в районе размещения СЗЦ «СевРАО» отд. Гремиха (данные ТЛ-дозиметров)

Территория	Кол-во изм.	СГЭД внешнего облучения, мЗв		
		минимум	максимум	медиана
Фоновый район (оз. Змей) – на открытой местности	6	0,40	1,40	0,97 (0,40–1,38)
ЗАТО г. Островной: – на открытой местности	16	0,40	1,63	0,98 (0,40–1,56)
– в жилых домах	6	0,40	1,56	0,80 (0,40–1,30)

Таблица 5

Содержание тяжелых металлов в почве селитебной зоны и фонового района

Элемент	Класс хим. опасности	Содержание тяжелых металлов, мг/кг			Критерии оценки, мг/кг		Kc
		минимум	максимум	медиана	региональный фон	ПДК/ОДК	
Pb	1	35	210	120 (40–190)	18	32	6
Cd	1	0,09	0,90	0,22 (0,09–0,63)	0,06	0,5	3
As	1	0,1	1,2	0,6 (0,1–0,9)	0,3	2	2
Zn	1	97	980	170 (101–680)	58	110	3
Ni	2	23	39	34 (25–37)	20	40	2
Cu	2	15	97	35 (20–78)	12	66	2
Cr	2	28	120	81 (31–113)	34	–	2
V	3	47	93	75 (49–83)	48	150	2
Mn	3	490	610	600 (502–602)	400	1500	1
Ba	3	620	790	700 (630–778)	720	–	1
Sr	3	260	300	280 (265–290)	300	–	1
Zc		2	28	9 (2–17)	–	–	–

<sup>18</sup> Проект обоснования границ санитарно-защитной зоны для Центра по обращению с радиоактивными отходами отделения Гремиха – Северо-Западного центра по обращению с радиоактивными отходами «СевРАО» – филиал федерального государственного унитарного предприятия «Предприятие по обращению с радиоактивными отходами «РосРАО» (СЗЦ «СевРАО» – филиал ФГУП «РосРАО»). – Мурманск, 2017. – 143 с.

<sup>19</sup> СанПиН 2.1.6.1032-01. Гигиенические требования к обеспечению качества атмосферного воздуха населенных мест [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/901787814> (дата обращения: 10.07.2020).

**Комплексный анализ канцерогенных рисков для населения.** Результаты экспериментальных исследований по оценке состояния загрязнения окружающей среды в районе расположения объекта ядерного наследия легли в основу расчета показателей канцерогенного риска. Расчеты рисков, основанные на данных натурных исследований, характеризуются рядом неопределенностей, связанных с пространственно-временной неравномерностью распределения загрязнителей в окружающей среде, особенностями экспозиции индивида, временными рамками экспериментальных исследований. В настоящем исследовании оценка риска для здоровья населения проведена на период активной фазы обращения с отработавшим ядерным топливом (ОЯТ) и радиоактивными отходами (РАО). Радиационные и химические риски, связанные с загрязнением окружающей среды тяжелыми металлами, определены по консервативному сценарию в отношении гипотетического человека, подвергающегося максимальному существующему воздействию на протяжении периода, соответствующего средней продолжительности жизни человека (70 лет). Во избежание занижения степени опасности для расчета ориентировочных уровней риска использованы значения верхней границы доверительного интервала медианы при  $P = 0,95$  с учетом расширенной неопределенности измерений радиационных параметров и содержания тяжелых металлов.

В соответствии с Р 52.18.787-2013 проведен расчет ориентировочных уровней радиационного риска, учитывающий путь облучения техногенными радионуклидами, присутствующими в почве и питьевой воде (табл. 6). Получено, что для населения исследуемой территории риск внешнего облучения на порядок выше риска внутреннего облучения. Уровень суммарного радиационного риска с учетом неопределенности составляет  $5 \cdot 10^{-7}$ , что соответствует уровню «пренебрежимо малый» (менее  $1 \cdot 10^{-6}$ ). Риск, оцененный по суммарной СГЭД от техногенных источников, также соответствует уровню «пренебрежимо малый».

Оценка ориентировочного уровня риска развития канцерогенных эффектов от воздействия тяжелых металлов, присутствующих в почве селитебной зоны в повышенных по сравнению с фоновыми содержаниях (табл. 7), ввиду отсутствия установленных значений фактора канцерогенного потенциала для Zn, Cu и V выполнена для Pb, As, Cd и Cr (по причине отсутствия содержания Cr (VI) использовано его валовое содержание).

Рассчитанные уровни канцерогенных рисков с учетом всех путей поступления в организм человека (пероральный, ингаляционный и накожный) не превышают границы диапазона минимального канцерогенного риска (менее  $10^{-6}$ ), что соответствует критерию приемлемости «пренебрежимо малый».

Таблица 6

Индивидуальный радиационный риск для населения, проживающего в районе размещения СЗЦ «СевРАО» отд. Гремиха

Параметр	Удельная активность, Бк/кг (л) *	Индивидуальный радиационный риск		
		путь облучения		суммарный
		внутреннее	внешнее	
Почва		$3 \cdot 10^{-9}$	$5 \cdot 10^{-7}$	$5 \cdot 10^{-7}$
$^{137}\text{Cs}$	25	$8 \cdot 10^{-10}$	$5 \cdot 10^{-7}$	$5 \cdot 10^{-7}$
$^{90}\text{Sr}$	9	$2 \cdot 10^{-9}$	$1 \cdot 10^{-9}$	$3 \cdot 10^{-9}$
Вода		$1 \cdot 10^{-8}$	–	$1 \cdot 10^{-8}$
$^{137}\text{Cs}$	0,003	$1 \cdot 10^{-9}$	–	$1 \cdot 10^{-9}$
$^{90}\text{Sr}$	0,001	$9 \cdot 10^{-9}$	–	$9 \cdot 10^{-9}$
Общий риск		$1 \cdot 10^{-8}$	$5 \cdot 10^{-7}$	$5 \cdot 10^{-7}$

Примечание: \* значение верхней границы доверительного интервала медианы при  $P = 0,95$  с учетом расширенной неопределенности измерений.

Таблица 7

Индивидуальный канцерогенный риск химического фактора почвы для населения, проживающего в районе размещения СЗЦ «СевРАО» отд. Гремиха

Параметр	Концентрация, мг/кг*	Индивидуальный канцерогенный риск			суммарный
		путь поступления			
		перорально	ингаляционно	накожно	
Почва (без учета Cr)		$9 \cdot 10^{-8}$	$2 \cdot 10^{-8}$	$5 \cdot 10^{-8}$	$2 \cdot 10^{-7}$
Pb	190	$4 \cdot 10^{-8}$	$6 \cdot 10^{-9}$	$2 \cdot 10^{-8}$	$7 \cdot 10^{-8}$
As	0,9	$3 \cdot 10^{-8}$	$8 \cdot 10^{-9}$	$6 \cdot 10^{-9}$	$4 \cdot 10^{-8}$
Cd	0,6	$5 \cdot 10^{-9}$	$3 \cdot 10^{-9}$	$2 \cdot 10^{-8}$	$3 \cdot 10^{-8}$
Cr	113	$1 \cdot 10^{-6}$	$4 \cdot 10^{-7}$	$5 \cdot 10^{-6}$	$6 \cdot 10^{-6}$

Примечание: \* значение верхней границы доверительного интервала медианы при  $P = 0,95$  с учетом расширенной неопределенности измерений.

Основываясь на общей концепции линейной зависимости для оценки канцерогенного риска в области малых доз облучения и при малых концентрациях канцерогенных химических веществ, сравнение рисков от исследуемых загрязнителей позволяет говорить об отсутствии превалирующего вклада радиационной или химической компоненты в канцерогенный риск [10].

**Выводы.** Гигиеническая обстановка в селитебной зоне района расположения бывшей береговой технической базы ВМФ России (п. Гремиха) характеризуется фоновыми содержаниями техногенных радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в объектах окружающей среды. Отмечено превышение содержания тяжелых металлов в почве городской среды по сравнению с фоновыми показателями. Сравнительная оценка канцерогенного риска для здоровья населения от воздей-

ствия радиационного фактора и химического загрязнения окружающей среды показала сопоставимые результаты, ориентировочный уровень риска не превышает  $10^{-6}$  и является пренебрежимо малым.

Результаты проведенных исследований позволяют заключить, что на настоящем этапе вывода из эксплуатации объекта СЗЦ «СевРАО» (отд. Гремиха) производственная деятельность не формирует дополнительных рисков для окружающей среды и населения, проживающего в районе его расположения, обусловленных воздействием радионуклидов и тяжелых металлов.

**Финансирование.** Исследование не имело спонсорской поддержки.

**Конфликт интересов.** Авторы данной статьи сообщают об отсутствии конфликта интересов.

### Список литературы

1. Линге И.И., Воробьева Л.М., Шашина Т.А. Структура экологических факторов риска для здоровья населения Кольского севера // Гигиена и санитария. – 2009. – № 5. – С. 51–54.
2. Recent developments in assessment of long-term radionuclide behavior in the geosphere-biosphere subsystem / G.M. Smith, K.L. Smith, R. Kowe, D. Pérez-Sánchez, J. Molinero // Journal of Environmental Radioactivity. – 2012. – Vol. 131. – P. 89–109. DOI: 10.1016/j.jenvrad.2013.10.018
3. Sneve M.K., Popic J.M., Siegien-Iwaniuk K. Regulatory Supervision of Legacy Sites: The Process from Recognition to Resolution. Report of an international workshop. – Lillehammer, 2017. – 115 p.
4. Котенко К.В., Шандала Н.К. Проблемы регулирования ядерного наследия (обзор) // Саратовский научно-медицинский журнал. – 2013. – Т. 9, № 4. – С. 811–815.
5. Анализ национальной системы нормативного и правового обеспечения радиационной безопасности населения и охраны окружающей среды вблизи объектов и территорий, загрязненных техногенными и природными радионуклидами в результате прошлой деятельности / А.В. Панов, Н.И. Санжарова, А.Н. Переволоцкий, Т.В. Переволоцкая, В.С. Наумов // Радиация и риск. – 2017. – Т. 26, № 2. – С. 107–121.
6. Блинова Л.Д., Душин В.Н. Разработка методологических подходов к оценке риска для населения и окружающей среды при эксплуатации радиационно-опасных объектов в нормальном режиме; сравнительная оценка риска // Труды радиевого института им. В.Г. Хлопина. – 2003. – Т. 10. – С. 92–105.
7. Арутюнян Р.В., Грачёв В.А. Риск-ориентированный подход к анализу безопасного проживания вблизи объектов атомной энергетики. Обзор // Радиация и риск. – 2018. – Т. 27, № 2. – С. 117–140.
8. Радиоэкологическая обстановка в регионах расположения предприятий Росатома / под ред. И.И. Линге, И.И. Крышева. – М.: САМ полиграфист, 2015. – 296 с.
9. Актуальные проблемы комплексной гигиенической характеристики факторов городской среды и их воздействия на здоровье населения / Ю.А. Рахманин, С.И. Иванов, С.М. Новиков, Ю.А. Ревазова, Н.В. Русаков // Гигиена и санитария. – 2007. – № 5. – С. 5–8.
10. Методологические подходы к оценке риска для здоровья в гигиенических исследованиях / А.М. Библин, И.А. Зыкова, Т.М. Королева, М.С. Николаевич // Радиационная гигиена. – 2013. – Т. 6, № 2. – С. 32–38.
11. Сравнительная оценка радиационных и токсических рисков в Ангарске / С.В. Панченко, А.А. Аракелян, М.В. Ведерникова, Н.П. Поцяпун, О.А. Каргин, О.Н. Сикора, У.Г. Степанова // Радиация и риск. – 2017. – Т. 26, № 2. – С. 83–96.
12. Опыт практических исследований по сравнительной оценке радиационных и химических рисков здоровью населения от воздействия факторов окружающей среды / С.М. Новиков, Т.А. Шашина, Н.С. Додина, В.А. Кислицин, С.А. Скворонская, А.В. Мацок, С.В. Панченко, А.А. Аракелян // Гигиена и санитария. – 2019. – Т. 98, № 12. – С. 1425–1431.
13. Актуальные проблемы совершенствования оценки риска здоровью населения для обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия / Е.Н. Беляев, М.В. Фокин, С.М. Новиков, В.М. Прусаков, Т.А. Шашина, С.Ф. Шахметов // Гигиена и санитария. – 2013. – Т. 92, № 5. – С. 53–55.
14. Романович И.К. Ликвидация ядерного и радиационного наследия России: научное обеспечение радиационно-гигиенического нормирования // Радиационная гигиена. – 2019. – Т. 12, № 3. – С. 114–119.
15. Муратов О.Э. Ядерное наследие на Северо-Западе России. Проблемы и решения // Атомная стратегия. – 2019. – № 147. – С. 7–11.
16. Шандала Н.К., Киселев С.М., Титов А.В. Научно-практический опыт надзорной деятельности в области обеспечения защиты населения и окружающей среды на объектах ядерного наследия России // Радиационная гигиена. – 2019. – Т. 12, № 2. – С. 83–96.
17. Оценка состояния природной среды в районах расположения объектов ядерного наследия в Дальневосточном регионе России / С.М. Киселев, С.В. Ахромеев, С.А. Гераськин, А.А. Удалова, В.Г. Старинский, В.В. Шлыгин, Т.И. Гимадова, Н.К. Шандала // Вопросы радиационной безопасности. – 2017. – Т. 88, № 4. – С. 27–42.

18. Публикация 103 Международной Комиссии по радиационной защите (МКРЗ) / под ред. М.Ф. Киселёва, Н.К. Шандалы. – М.: ООО ПКФ «Алана», 2009. – 344 с.

19. Regulatory supervision during decommissioning & dismantling of nuclear submarines in the Russian Northwest / S.M. Kiselev, V.V. Shlygin, S.V. Akhromeev, T.N. Lashchenova, R. Starinskaya, T.I. Gimadova, Ju. Zozul, N.K. Shandala // Seventh International Conference on Radiation in Various Fields of Research. Book of Abstracts. – 2019. – P. 342.

20. Официальный сайт Правительства Мурманской области [Электронный ресурс] // Правительство Мурманской области. – URL: <https://gov-murman.ru/> (дата обращения: 10.07.2020).

*Анализ риска для здоровья населения при воздействии радиационных и химических факторов в районе расположения объекта ядерного наследия / С.М. Киселев, Н.К. Шандала, Т.Н. Лащенко, Ю.Н. Зозуль, В.В. Шлыгин, Т.И. Гимадова, А.Н. Малахова // Анализ риска здоровью. – 2021. – № 1. – С. 38–47. DOI: 10.21668/health.risk/2021.1.04*

UDC 614.876+614.878

DOI: 10.21668/health.risk/2021.1.04.eng



Research article

## HEALTH RISK ANALYSIS AS PER RADIATION AND CHEMICAL FACTORS IN A ZONE INFLUENCED BY A NUCLEAR LEGACY OBJECT

**S.M. Kiselev, N.K. Shandala, T.N. Lashchenova, Yu.N. Zozul,  
V.V. Shlygin, T.I. Gimadova, A.N. Malakhova**

State Research Center Burnasyan Federal Medical Biophysical center of Federal Medical Biological Agency,  
46 Zhivopisnaya Str., Moscow, 123182, Russian Federation

*Rehabilitation programs for nuclear legacy objects in north-western regions in Russia involve decommissioning; a former coast technical support base belonging to the RF Navy and located on the Gremikha peninsula in Murmansk region is now being removed from service. At present spent nuclear fuel is being extracted from ship reactors with liquid-metal coolant and nuclear wastes that have been accumulated during active operations are being treated. The current activities at the site result in complex influence on the environment determined by both radiation and non-radiation contaminants.*

*The present work focuses on examining a hygienic situation existing in residential areas located close to this nuclear legacy object. In general, radiation situation in residential areas is determined by technogenic contaminants, basically <sup>137</sup>Cs and <sup>90</sup>Sr radionuclides.*

*Our research has revealed that at the moment their contents in the environmental objects correspond to background levels that are typical for the examined region. Chemical contamination detected in residential areas is characterized with elevated heavy metals contents (Cd, As, Pb, V, Zn, Cu etc.) in soils in urban settlements that are higher than background levels. We detected lead and zinc concentrations that were higher than MPC. Total soil contamination with heavy metals (Zc) is still «permissible» in most residential areas. Carcinogenic health risk for people living in the examined residential areas does not exceed 10<sup>-6</sup> as per radiation and chemical factors.*

© Kiselev S.M., Shandala N.K., Lashchenova T.N., Zozul Yu.N., Shlygin V.V., Gimadova T.I., Malakhova A.N., 2021

**Sergey M. Kiselev** – Candidate of Biological Sciences, Head of the Laboratory for Regulating Surveillance over Nuclear Legacy Objects (e-mail: [sergbio@gmail.com](mailto:sergbio@gmail.com); tel.: +7 (985) 761-10-17; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2613-2293>).

**Nataliya K. Shandala** – Doctor of Medical Sciences, Deputy to Managing Director (e-mail: [shandala-fmbc@bk.ru](mailto:shandala-fmbc@bk.ru); tel.: +7 (499) 190-93-29; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1290-3082>).

**Tatiana N. Lashchenova** – Doctor of Biological Sciences, v (e-mail: [tlashchenova@yandex.ru](mailto:tlashchenova@yandex.ru); tel.: +7 (910) 404-91-10; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6682-1261>).

**Yuliya N. Zozul** – Candidate of Biological Sciences, Researcher (e-mail: [julnik@list.ru](mailto:julnik@list.ru); tel.: +7 (985) 920-39-83; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3154-1806>).

**Vladimir V. Shlygin** – Junior Researcher (e-mail: [vladvas83@mail.ru](mailto:vladvas83@mail.ru); tel.: +7 (499) 190-94-18; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1190-9557>).

**Tamara I. Gimadova** – Senior researcher (e-mail: [tamara.gimadova@icloud.com](mailto:tamara.gimadova@icloud.com); tel.: +7 (499) 190-96-65; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9144-2610>).

**Anna N. Malakhova** – Engineer (e-mail: [lawbro@yandex.ru](mailto:lawbro@yandex.ru); tel.: +7 (499) 190-96-65; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3868-3671>).

Research results allow assessing the current hygienic situation as normal and concluding that decommissioning of SZC «SevRAO» objects (Gremikha section) does not exert negative impacts on the environment and health of people living in residential areas located nearby. The obtained data give grounds for controlling activities when environmental monitoring is accomplished during works aimed at recovering contaminated areas where nuclear legacy objects are located.

**Key words:** radiation-hazardous objects, nuclear legacy, SZC «SevRAO», Gremikha, carcinogenic risk, technogenic radionuclides, heavy metals, hygienic assessment, population health.

## References

1. Linge I.I., Vorob'eva L.M., Shashina T.A. The structure of environmental risk factors to the population's health in the Kolsky north. *Gigiena i sanitariya*, 2009, no. 5, pp. 51–54 (in Russian).
2. Smith G.M., Smith K.L., Kowe R., Pérez-Sánchez D., Molinero J. Recent developments in assessment of long-term radionuclide behavior in the geosphere-biosphere subsystem. *Journal of Environmental Radioactivity*, 2012, vol. 131, pp. 89–109. DOI: 10.1016/j.jenvrad.2013.10.018
3. Sneve M.K., Popic J.M., Siegien-Iwaniuk K. Regulatory Supervision of Legacy Sites: The Process from Recognition to Resolution. Report of an international workshop. Lillehammer, 2017, 115 p.
4. Kotenko K.V., Shandala N.K. Problems of nuclear heritage regulation (review). *Saratovskii nauchno-meditsinskiy zhurnal*, 2013, vol. 9, no. 4, pp. 811–815 (in Russian).
5. Panov A.V., Sanzharova N.I., Perevolotskii A.N., Perevolotskaya T.V., Naumov V.S. Analysis of the current national regulatory system EOF radiation safety of public and radiation protection of environment nearby facilities and sites outside the facilities contaminated with artificial and natural radionuclides due to their past operation. *Radiatsiya i risk*, 2017, vol. 26, no. 2, pp. 107–121 (in Russian).
6. Blinova L.D., Dushin V.N. Methodological approaches to environmental risk assessment under nuclear facilities normal operation, comparative risk assessment. *Trudy radiyevogo instituta im. V.G. Khlopina*, 2003, vol. 10, pp. 92–105 (in Russian).
7. Arutyunyan R.V., Grachev V.A. Risk-oriented approach to analysis of safety living in the vicinity of atomic energy facilities. Review. *Radiatsiya i risk*, 2018, vol. 27, no. 2, pp. 117–140 (in Russian).
8. Radioekologicheskaya obstanovka v regionakh raspolozheniya predpriyatii Rosatoma [Radio-ecological situation in regions where Rosatom enterprises are located]. In: I.I. Linge, I.I. Krysheva eds. Moscow, «SAMpoligrafist» Publ., 2015, 296 p. (in Russian).
9. Rakhmanin Yu.A., Ivanov S.I., Novikov S.M., Revazova Yu.A., Rusakov N.V. Topical problems of the comprehensive hygienic characterization of urban environmental factors and their influence on the population's health. *Gigiena i sanitariya*, 2007, no. 5, pp. 5–8 (in Russian).
10. Biblin A.M., Zykova I.A., Koroleva T.M., Nikolaevich M.S. Methodological approaches to assessments of health risks in hygienic research. *Radiatsionnaya gigiena*, 2013, vol. 6, no. 2, pp. 32–38 (in Russian).
11. Panchenko S.V., Arakelyan A.A., Vedemikova M.V., Potsyapun N.P., Kargin O.A., Sikora O.N., Stepanova U.G. Comparative assessment of radiation and chemical risks in the city of Angarsk. *Radiatsiya i risk*, 2017, vol. 26, no. 2, pp. 83–96 (in Russian).
12. Novikov S.M., Shashina T.A., Dodina N.S., Kislitsin V.A., Skovronskaya S.A., Matsyuk A.V., Panchenko S.V., Arakelyan A.A. The experience of empirical research on comparative assessment of radiation and chemical health risks due to exposure to environmental factors. *Gigiena i sanitariya*, 2019, vol. 98, no. 12, pp. 1425–1431 (in Russian).
13. Belyaev E.N., Fokin M.V., Novikov S.M., Prusakov V.M., Shashina T.A., Shayakhmetov S.F. Actual problems of improving the assessment of health risk for assurance of the sanitary and epidemiological well-being. *Gigiena i sanitariya*, 2013, vol. 92, no. 5, pp. 53–55 (in Russian).
14. Romanovich I.K. Termination of the nuclear and radiation legacy of Russia: scientific basis for the radiation-hygienic regulation. *Radiatsionnaya gigiena*, 2019, vol. 12, no. 3, pp. 114–119 (in Russian).
15. Muratov O.E. Yadernoe nasledie na Severo-Zapade Rossii. Problemy i resheniya [Nuclear legacy in north-western Russia. Problems and solutions]. *Atomnaya strategiya*, 2019, no. 147, pp. 7–11 (in Russian).
16. Shandala N.K., Kiselev S.M., Titov A.V. Scientific and practical experience of supervisory activities in the field of the public and environmental protection at the Russian nuclear legacy sites. *Radiatsionnaya gigiena*, 2019, vol. 12, no. 2, pp. 83–96 (in Russian).
17. Kiselev S.M., Akhromeev S.V., Geras'kin S.A., Udalova A.A., Starinskii V.G., Shlygin V.V., Gimadova T.I., Shandala N.K. Assessment of natural environment at nuclear legacy sites are located in far eastern region of Russia. *Voprosy radiatsionnoi bezopasnosti*, 2017, vol. 88, no. 4, pp. 27–42 (in Russian).
18. Publikatsiya 103 Mezhdunarodnoi Komissii po radiatsionnoi zashchite (MKRZ) [Publication 103 by the International Commission on Radiological Protection]. In: M.F. Kiselev, N.K. Shandala eds. Moscow, OOO PKF «Alana» Publ., 2009, 344 p. (in Russian).
19. Kiselev S.M., Shlygin V.V., Akhromeev S.V., Lashchenova T.N., Starinskaya R., Gimadova T.I., Zozul Ju., Shandala N.K. Regulatory supervision during decommissioning & dismantling of nuclear submarines in the Russian Northwest. *Seventh International Conference on Radiation in Various Fields of Research. Book of Abstracts*, 2019, pp. 342.
20. Ofitsial'nyi sait Pravitel'stva Murmanskoi oblasti [Murmansk regional government – the official web-site]. *Pravitel'stvo Murmanskoi oblasti*. Available at: <https://gov-murman.ru/> (10.07.2020) (in Russian).

Kiselev S.M., Shandala N.K., Lashchenova T.N., Zozul Yu.N., Shlygin V.V., Gimadova T.I., Malakhova A.N. Health risk analysis as per radiation and chemical factors in a zone influenced by a nuclear legacy object. *Health Risk Analysis*, 2021, no. 1, pp. 38–47. DOI: 10.21668/health.risk/2021.1.04.eng

Получена: 20.09.2020

Принята: 07.02.2021

Опубликована: 30.03.2021