

КОМПЛЕКСНАЯ ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ТЕРРИТОРИЙ В РАЙОНЕ РАЗМЕЩЕНИЯ СТРОЯЩЕГОСЯ РЕГИОНАЛЬНОГО ЦЕНТРА ПО ОБРАЩЕНИЮ С РАДИОАКТИВНЫМИ ОТХОДАМИ

Ю. Н. Зозуль , С. М. Киселев, Т. Н. Лашенцова, В. В. Шлыгин, С. В. Ахромеев, Т. И. Гимадова, А. Н. Малахова, О. Б. Шашкова, К. Ю. Оськина

Федеральный медицинский биофизический центр имени А. И. Бурназяна, Москва, Россия

В Приморском крае, где вопросы обращения с радиоактивными отходами (РАО) стоят весьма остро, ведется строительство Регионального центра кондиционирования и долговременного хранения радиоактивных отходов (РЦКДХ). Проект предполагает интенсификацию работ по обращению с РАО, а также строительство нового технологического корпуса по переработке РАО, пункта хранения и котельной. Целью исследования было дать комплексную гигиеническую оценку территорий в районе расположения РЦКДХ перед вводом его в эксплуатацию. Оценку радиационных параметров выполняли с использованием методов радиометрии и спектрометрии, содержания тяжелых металлов — методом атомно-абсорбционной спектрометрии. В почвах и грунтах выявлено присутствие тяжелых металлов (свинец, никель, медь и др.) и мышьяка в концентрациях, превышающих фоновые значения и в ряде случаев предельно допустимую концентрацию (ПДК). Радиационную обстановку характеризуют фоновые значения активности техногенных радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr в объектах окружающей среды. Качество воды колодцев и скважин в основном соответствует требованиям для подземных вод, используемых для нецентрализованного водоснабжения, за исключением скважин, где присутствует мышьяк в концентрации выше ПДК. Среднегодовая интегральная доза облучения населения за вычетом естественного регионального фона составила 0,046 мЗв, что ниже предела дозы. Канцерогенный риск для здоровья населения от воздействия радиационного и химического фактора составил 4×10^{-6} и 6×10^{-6} соответственно. Полученные результаты являются основой для установления референсных значений состояния загрязнения окружающей среды перед вводом в эксплуатацию РЦКДХ и могут быть использованы в практике регулирующего надзора в процессе его эксплуатации.

Ключевые слова: объект ядерного наследия, радиационно-гигиенический мониторинг, канцерогенный риск, техногенные радионуклиды, тяжелые металлы, здоровье населения, радиационная обстановка

Вклад авторов: Ю. Н. Зозуль — анализ и подготовка материалов исследования; С. М. Киселев, Т. Н. Лашенцова — общее руководство, анализ материалов исследования; В. В. Шлыгин — проведение исследований радиационной обстановки, обработка данных; С. В. Ахромеев — проведение исследований методом спектрометрии, сбор информации; Т. И. Гимадова — проведение исследований методом интегральной ТЛ-дозиметрии; А. Н. Малахова — сбор информации, работа с ТЛ-дозиметрами; О. Б. Шашкова — проведение исследований методом атомно-абсорбционной спектрометрии; К. Ю. Оськина — проведение радиохимических исследований.

Соблюдение этических стандартов: все работы проведены с соблюдением мер радиационной безопасности и требований охраны труда.

✉ **Для корреспонденции:** Юлия Николаевна Зозуль
ул. Живописная, д. 46, 123098, г. Москва; julnik@list.ru

Статья получена: 15.07.2021 **Статья принята к печати:** 11.08.2021 **Опубликована онлайн:** 27.08.2021

DOI: 10.47183/mes.2021.022

ENVIRONMENTAL IMPACT ASSESSMENT OF THE TERRITORIES IN THE VICINITY OF COMMISSIONING REGIONAL RADIOACTIVE WASTE MANAGEMENT FACILITY

Zozul YuN , Kiselev SM, Laschenova TN, Shlygin VV, Akhromeev SV, Gimadova TI, Malakhova AN, Shashkova OB, Oskina KYu

Burnasyan Federal Medical Biophysical Center, Moscow, Russia

The Regional center of conditioning and long-term storage of radioactive waste is being constructed in Primorsky Krai, where radioactive waste (RW) management concerns have been especially acute. The project involves intensification of activities related to RW management, as well as to building the new technology block for RW reprocessing, storage facility and boiler house. The study was aimed to perform environmental impact assessment of the territories in the vicinity of the Regional center of conditioning and long-term storage of radioactive waste prior to the facility commissioning. Radiation situation was assessed by radiometric and spectrometric methods; the levels of heavy metals were evaluated by atomic absorption spectrometry. Heavy metal (lead, nickel, copper, etc.) and arsenic levels exceeding or, in certain cases, similar to maximum permissible concentration (MPC) were found in soil and ground. Radiation situation is characterized by background levels of artificial radionuclides ^{137}Cs and ^{90}Sr in environmental media. Quality of water in wells and boreholes was largely compliant with the requirements established for groundwater used in decentralized water supply systems, with the exception of boreholes, in which the arsenic levels exceeding MPC were detected. The average annual public dose was 0.046 mSv excluding natural regional background radiation, which was below the dose limit. Carcinogenic health risks induced by radiation and chemical factors was 4×10^{-6} and 6×10^{-6} respectively. The obtained results form the basis for setting reference values of environmental contamination prior to the Regional center of conditioning and long-term storage of radioactive waste commissioning and can be used for regulatory supervision during the facility operation.

Keywords: nuclear legacy site, radiological monitoring, carcinogenic risk, artificial radionuclides, heavy metals, public health, radiation situation

Author contribution: Zozul YuN — preparation and analysis of research data; Kiselev SM, Laschenova TN — overall management, analysis of research data; Shlygin VV — assessment of radiological situation, data processing; Akhromeev SV — spectrometry, data acquisition; Gimadova TI — thermoluminescence dosimetry; Malakhova AN — data acquisition, working with TL-dosimeters; Shashkova OB — atomic absorption spectrometry; Oskina KYu — radiochemistry research.

Compliance with ethical standards: the study was carried out in full compliance with radiation safety measures and labour protection requirements. No research involving human subjects or animals was performed.

✉ **Correspondence should be addressed:** Yilia N. Zozul
Zhivopisnaya, 46, 123098, Moscow; julnik@list.ru

Received: 15.07.2021 **Accepted:** 11.08.2021 **Published online:** 27.08.2021

DOI: 10.47183/mes.2021.022

В Российской Федерации формируется современная технологическая платформа обращения с радиоактивными отходами. В рамках ее реализации создаются региональные центры, предназначенные для приема, переработки и приведения в безопасное состояние накопленных и вновь образующихся отходов. В Приморском крае с 2016 г. ведется строительство Регионального центра кондиционирования и долговременного хранения радиоактивных отходов (РЦКДХ) вблизи территории промышленной площадки бухта Сысоева отделения Фокино Дальневосточного центра по обращению с радиоактивными отходами — филиала ФГУП «Федеральный экологический оператор» (площадка б. Сысоева). Согласно проекту создаваемая производственная структура предназначена для переработки и приведения в безопасное состояние радиоактивных отходов РАО, накопленных на площадке б. Сысоева и образующихся в процессе эксплуатации и вывода из эксплуатации его объектов. Региональный статус предприятия предполагает также прием и переработку радиоактивных материалов, образованных в результате деятельности других предприятий Дальневосточного региона, в том числе задействованных в утилизации атомного флота России. Государственный санитарно-эпидемиологический надзор на территориях, где осуществляется деятельность по обращению с РАО, входит в сферу ответственности Федерального медико-биологического агентства России [1].

Исследуемый радиационно опасный объект расположен на юго-восточной оконечности Дунайского полуострова. В районе размещения площадки б. Сысоева находится территория частного сектора поселка городского типа Дунай (п. Старый Дунай) с постоянно проживающим населением. Частный сектор расположен вдоль линии железной дороги к бухте Конюшкова и федеральной трассы, по которой осуществляли транспортировку отработавшего ядерного топлива в защитных контейнерах на предприятие. Местное население проживает в одноэтажных деревянных и каменных домах, ведет приусадебное хозяйство. Водоснабжение нецентрализованное, для питьевых и хозяйственных нужд используют воду подземных источников (колодцы и скважины). Рацион питания жителей включает молоко местного производства, выращенные на приусадебных участках овощи. Население п. Старый Дунай является критической группой, проживающей в зоне потенциального воздействия предприятия.

Территория РЦКДХ находится в пределах санитарно-защитной зоны (СЗЗ) площадки б. Сысоева в непосредственной близости от производственной площадки. Гигиеническая обстановка на территории расположения вводимого в эксплуатацию объекта обусловлена производственной деятельностью площадки б. Сысоева, которое уже более 20 лет осуществляет комплекс работ по обращению с РАО, накопленными в ходе предыдущей военной деятельности в качестве береговой технической базы обслуживания атомных подводных лодок [2]. В настоящее время стационарным источником выбросов техногенных радионуклидов в атмосферу являются действующие объекты площадки б. Сысоева: комплекс переработки жидких радиоактивных отходов, радиохимическая лаборатория и пункт дезактивации автотехники ПД-8 [3]. По данным Росгидромета, содержание радионуклидов техногенного происхождения в атмосферных выпадениях на территории Приморского края за 2017–2019 гг. находится на пределе чувствительности метода определения. Максимальное содержание в атмосферном воздухе

(^{137}Cs — $0,9 \times 10^{-7}$ Бк/м³; ^{90}Sr — $2,7 \times 10^{-7}$ Бк/м³) на порядки ниже допустимой среднегодовой активности [4]. Среднегодовое значение МАЭД по Приморскому краю составляет 0,13 мкЗв/ч [5]. С введением в эксплуатацию РЦКДХ появится дополнительный источник выброса радиоактивных и химических веществ вытяжной вентиляции технологического корпуса по переработке и кондиционированию РАО. Основной состав принимаемых РАО — радиоактивные отходы, сопутствующие утилизации атомных подводных лодок и реабилитации РАО с доминирующим составом радионуклидов: ^{60}Co , ^{137}Cs , ^{90}Sr .

Учитывая приведенные обстоятельства, а также планируемую интенсификацию деятельности по обращению с РАО в регионе, актуальной задачей является оценка техногенного воздействия на окружающую среду и население на современном этапе производственной деятельности на площадке б. Сысоева. Полученные данные будут использованы в качестве референсных показателей для гигиенической оценки состояния окружающей среды в ходе дальнейшей производственной деятельности по обращению с РАО.

Цель данной работы — дать комплексную гигиеническую оценку территорий в районе размещения РЦКДХ в Приморском крае перед его вводом в эксплуатацию.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

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

Оценку радиационной обстановки на местности выполняли по результатам измерений мощности амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения (МАЭД) «Мультирад-М» («Амплитуда»; Россия) методом пешеходной гамма-съемки.

Определение радионуклидного состава и удельной активности техногенных радионуклидов проводили методами спектрометрии с помощью гамма-спектрометра с полупроводниковым германиевым детектором («CANBERRA»; США) и радиометрии с применением радиометра УМФ-2000 (ООО НПП «Доза»; Россия) и методов предварительного радиохимического выделения радионуклидов.

Оценку доз облучения населения выполняли для ситуации фактического радиационного воздействия с учетом регионального радиационного фона. Годовую дозу облучения населения рассчитывали как сумму доз внешнего облучения за текущий год и ожидаемой дозы вследствие поступления радионуклидов в организм за год [4].

Консервативную оценку средней годовой эффективной дозы (далее СГЭД) внешнего облучения населения на местности и в жилых домах выполняли по результатам экспонирования термoluminesцентных дозиметров (ТЛ-дозиметры) с детекторами на основе фтористого лития (ДТГ-4) в тканеэквивалентной кассете толщиной 1 г/см² [7].

Дозу внутреннего облучения за счет перорального поступления радионуклидов с водой и пищевыми продуктами рассчитывали по удельной активности техногенных радионуклидов [8].

Оценку содержания тяжелых металлов в пробах окружающей среды выполняли методом атомно-абсорбционной спектрометрии на приборе «Квант 2АТ»,

(«КОРТЭК»; Россия). Из спектра определенных элементов в работе представлены данные по содержанию тяжелых металлов, присутствующих в пробах в значимых количествах.

Уровень химического загрязнения почв оценивали согласно нормативным документам [9] на основе ПДК (при отсутствии — ОДК) с использованием коэффициента концентрации химического вещества относительно регионального фона (Кс) и суммарного показателя загрязнения (Zс) [10].

Оценку содержания тяжелых металлов в питьевой воде выполняли на основании ПДК, установленных в нормативных документах [10].

Оценку риска для здоровья населения проводили по консервативному сценарию в отношении гипотетического человека, подвергающегося существующему максимальному воздействию в течение всей жизни. Расчет индивидуального канцерогенного риска выполняли с учетом путей воздействия техногенных радионуклидов и тяжелых металлов, присутствующих в почве, питьевой воде и местных пищевых продуктах.

Риск от воздействия радиационного фактора рассчитывали на основе СГЭД, используя линейный коэффициент риска злокачественных новообразований для всего населения $5,5 \times 10^{-2}$ [11]. Риск по путям облучения оценивали по удельному содержанию техногенных радионуклидов в почве, питьевой воде и пищевых продуктах согласно рекомендациям [12].

Риск от воздействия тяжелых металлов оценивали 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 в зависимости от пути поступления канцерогенов [13].

Статистическую обработку результатов проводили посредством Microsoft Excel 2010 (Microsoft Corporation; США). Ввиду несоответствия распределения измеренных значений нормальному и логнормальному закону, в качестве показателя центральной тенденции использовали медиану и границы ее доверительного интервала (ДИ) при $P = 0,95$ [6]. Согласно принципу консервативности, представленные значения приведены с запасом на расширенную неопределенность измерений.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Гигиеническая оценка территории в зоне строительства РЦКДХ

По результатам исследований в СЗЗ площадки б. Сысоева в 2018–2020 гг. МАЭД на территории зоны строительства РЦКДХ находится в диапазоне 0,03–0,23 мкЗв/ч, медианное значение — 0,09 мкЗв/ч, что соответствует характерным значениям для Приморского края (0,09–0,18 мкЗв/ч), обусловленным естественным радиационным фоном региона [5]. Основными техногенными радионуклидами в объектах окружающей среды (почва, подземные воды) являются ^{137}Cs и ^{90}Sr [14].

Значения удельной активности техногенных радионуклидов в почве существенно ниже критерия неограниченного использования $A_{\text{ни}}$ [15]: медианное содержание ^{137}Cs — 17 Бк/кг (максимальное — 63 Бк/кг), ^{90}Sr — 3 Бк/кг (максимальное — 4 Бк/кг). По содержанию тяжелых металлов выявлено превышение ПДК по мышьяку, свинцу, цинку, никелю, меди, ванадию и марганцу (табл. 1). Значения суммарного показателя загрязнения (Zс) грунта, рассчитанные относительно региональных фоновых значений, не превышают 16, что характеризуют степень химического загрязнения как «допустимая».

Гигиеническая оценка территории проживания населения в районе размещения РЦКДХ (п. Старый Дунай)

Радиационная обстановка на территории п. Старый Дунай, характеризующаяся значениями МАЭД в пределах 0,05–0,21 мкЗв/ч (медианное значение — 0,10 мкЗв/ч), соответствует уровню радиационного фона Шкотовского района (медианное значение — 0,10 мкЗв/ч; ДИ — 0,07–0,13 мкЗв/ч) и характерным значениям для Приморского края (0,09–0,18 мкЗв/ч) [5]. Основными дозообразующими техногенными радионуклидами, присутствующими в объектах окружающей среды и пищевых продуктах, являются ^{137}Cs и ^{90}Sr .

В почвах п. Старый Дунай содержание ^{137}Cs и ^{90}Sr в основном находится на уровне значений регионального фона Шкотовского района (медианное значение удельной

Таблица 1. Содержание тяжелых металлов и мышьяка в грунте в зоне строительства РЦКДХ в 2017 и 2019 г.

Элемент	Класс химической опасности	Содержание тяжелых металлов, мг/кг		Критерий, мг/кг		
		Медиана	Максимум	Региональный фон*	ПДК/ ОДК**	k_{max} ***
Pb	1	66 (38–180)	180	62	65	260
Cd	1	0,17 (0,17–0,18)	0,18	0,2	1	–
As	1	8 (8–9)	9	12	5	15
Zn	1	200 (100–350)	350	130	110	–
Ni	2	46 (27–100)	100	35	40	–
Cu	2	74 (22–230)	230	18	66	–
Cr	2	130 (110–170)	170	110	–	–
V	3	180 (130–310)	310	110	150	350
Mn	3	2200 (770–2700)	2700	1000	1500	15000
Ba	3	890 (570–1400)	1400	700	–	–
Sr	3	180 (150–500)	500	200	–	–
Zc		6 (5–8)	13	–	–	–

Примечание: * — результаты собственных исследований; ** — значения гигиенических нормативов приведены для валовых форм для суглинистых и глинистых почв при pH < 5,5 [10]; *** — максимальное значение допустимого уровня содержания элемента по одному из четырех показателей вредности.

Таблица 2. СГЭД внутреннего облучения населения п. Старый Дунай за счет употребления питьевой воды и местных пищевых продуктов

Объект	Удельная активность, Бк/л (кг)				Потребление, кг/год	СГЭД внутреннего облучения, мЗв		
	¹³⁷ Cs		⁹⁰ Sr			За счет ¹³⁷ Cs	За счет ⁹⁰ Sr	Суммарно
	п. Старый Дунай*	УВ/ДУ**	п. Старый Дунай*	УВ/ДУ**				
Питьевая подземная вода	$\frac{0,005 \div 0,040}{0,012}$	11	$\frac{0,002 \div 0,143}{0,051}$	4,9	730	4×10 ⁻⁵	9×10 ⁻⁴	9×10 ⁻⁴
Молоко	$\frac{0,02 \div 0,62}{0,24}$	100	$\frac{0,03 \div 0,64}{0,24}$	25	136,5	3×10 ⁻⁴	1×10 ⁻³	2×10 ⁻³
Картофель	$\frac{0,02 \div 0,38}{0,11}$	80	$\frac{0,01 \div 7,3}{0,63}$	40	50,4	1×10 ⁻⁴	4×10 ⁻³	4×10 ⁻³
Огурцы	$\frac{0,01 \div 0,16}{0,06}$	60	$\frac{0,04 \div 0,19}{0,12}$	25	5,6	8×10 ⁻⁶	8×10 ⁻⁵	1×10 ⁻⁴
Свекла, морковь	$\frac{0,01 \div 0,06}{0,04}$	60	$\frac{0,04 \div 0,28}{0,12}$	25	10	9×10 ⁻⁶	5×10 ⁻⁴	5×10 ⁻⁴

Примечание: * в числителе — диапазон колебаний, * в знаменателе — медиана; ** для питьевой воды — уровень вмешательства (УВ) [4]; ** для пищевых продуктов — допустимый уровень (ДУ) [16].

активности ¹³⁷Cs — 6 Бк/кг, ⁹⁰Sr — 2 Бк/кг). Превышение значений регионального фона по удельной активности ¹³⁷Cs (медианное значение удельной активности ¹³⁷Cs — 46 Бк/кг) до уровня критерия неограниченного использования ($A_{\text{нп}} = 100$ Бк/кг) отмечено в пробах грунта, отобранных по обочинам автотрассы. Почвы приусадебных участков по удельной активности техногенных радионуклидов (медианное значение удельной активности ¹³⁷Cs — 9 Бк/кг, ⁹⁰Sr — 2 Бк/кг) отвечают требованиям неограниченного использования твердых материалов в хозяйственной деятельности [15].

Воды подземных источников питьевого водоснабжения по содержанию техногенных радионуклидов соответствуют требованиям качества питьевой воды (табл. 2) [4]. Удельная активность ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr в воде подземных источников (колодцы, скважины) на 3–4 порядка ниже уровня вмешательства (УВ).

В продуктах местного производства (молоко, выращиваемые на приусадебных участках овощи) удельная активность техногенных радионуклидов на 2–4 порядка ниже допустимого уровня для пищевых продуктов (ДУ) (табл. 2) [16].

Оценка доз внутреннего облучения населения техногенными радионуклидами на основе данных содержания радионуклидов в питьевой воде и пищевых продуктах местного производства показала, что основной вклад вносит облучение от употребления питьевой воды, молока и картофеля (см. табл. 2). СГЭД внутреннего облучения населения за счет техногенных радионуклидов составила 0,008 мЗв: за счет ¹³⁷Cs — 0,0005 мЗв, за счет ⁹⁰Sr — 0,007 мЗв.

Оценка доз внешнего облучения населения методом интегральной дозиметрии (по результатам измерений ТЛ-дозиметров, размещенных на местности и в жилых домах п. Старый Дунай в течение года) показала, что СГЭД

внешнего облучения на открытой местности не превышает 1,70 мЗв с медианным значением 1,03 мЗв (табл. 3), что соответствует значениям регионального фона, обусловленным естественным радиационным фоном. Доза внешнего облучения населения в домах на 20% превышает аналогичный показатель на открытой местности. С учетом стандартного времени пребывания в домах (6600 ч) и на открытой местности (2200 ч) медианное значение СГЭД внешнего облучения населения, проживающего в районе размещения РЦКДХ, составляет 1,18 мЗв (региональный фон — 1,15 мЗв).

Суммарная СГЭД населения п. Старый Дунай за вычетом естественного регионального фона составила 0,046 мЗв, что на два порядка ниже предела дозы, установленного нормативно [4]. Основной вклад (более 65%) вносит внешнее облучение — 0,030 мЗв. СГЭД внутреннего облучения составила 0,008 мЗв: за счет пищевых продуктов питания — 0,007 мЗв, питьевой воды — 0,0009 мЗв.

Содержание металлов и мышьяка в почве и питьевой воде на территории п. Старый Дунай представлены в табл. 4.

Сравнение содержания металлов в почве п. Старый Дунай с региональным фоном показало повышенное содержание свинца, меди, хрома, цинка и марганца. Наибольшее превышение ПДК отмечено по цинку, свинцу и меди. Повышенное содержание цинка, превышающее ПДК, отмечено и для регионального фона, что характеризует региональные особенности территории. По результатам гигиенической оценки содержания тяжелых металлов по значению суммарного показателя концентрации Zс, большая часть проб почвы (78%) населенного пункта относится к категории загрязнения «допустимая» ($Zс < 16$). К категории загрязнения «умеренно опасная» ($16 < Zс < 32$) относится 22% проб за счет повышенного содержания меди, свинца и цинка.

Таблица 3. Среднегодовая интегральная доза внешнего облучения населения п. Старый Дунай

Территория	Число измерений	СГЭД внешнего облучения, мЗв		
		Минимум	Максимум	Медиана (ДИ)
Региональный фон:				
– открытая местность	19	0,46	1,5	1,00 (0,50–1,48)
– жилые дома	7	0,49	2,07	1,20 (0,57–1,25)
п. Старый Дунай:				
– открытая местность	37	0,49	1,7	1,03 (0,55–1,51)
– жилые дома	18	0,6	2,13	1,23 (0,67–1,70)

Таблица 4. Содержание тяжелых металлов и мышьяка в почве и подземных водах в районе размещения РЦКДХ

Элемент	Класс химической опасности	Содержание тяжелых металлов, мг/кг (л)			Критерий, мг/кг (л)		K _c
		Минимум	Максимум	Медиана	Региональный фон	ПДК / ОДК	
Почва							
Pb	1	41	250	110 (67–180)*	62	65	2
Cd	1	< 0,12	0,51	0,23 (0,12–0,51)*	0,2	1	1
As	1	< 1	3	2 (1–3)*	12	5	< 1
Zn	1	100	820	215 (140–460)*	130	110	2
Ni	2	22	47	42 (34–45)*	35	40	1
Cu	2	19	260	67 (41–130)*	18	66	4
Cr	2	55	300	155 (130–160)*	110	–	1
V	3	83	180	125 (120–130)*	110	150	1
Mn	3	670	2000	1300 (1200–1400)*	1000	1500	1
Ba	3	510	1200	635 (560–720)*	700	–	1
Sr	3	130	310	160 (140–220)*	200	–	1
Zc		2	21	6 (3–9)*	–	–	–
Подземные воды (скважины, колодцы)							
As	1	< 0,005	0,025	<0,005 / 0,010** <0,005	< 0,005	0,01	–
Ba	2	0,01	0,04	0,02 / 0,01** 0,02	0,03	0,7	–
Cd	2	< 0,0001	0,0005	0,0001 / <0,0001** 0,0001"	< 0,0001	0,001	–
Cr	2	0,001	0,005	0,002 / 0,003** 0,002	0,001	0,05	–
Pb	2	< 0,001	0,008	0,001 / 0,007** 0,001	< 0,001	0,1	–
Sr	2	0,1	0,4	0,19 / < 0,10** 0,12	0,36	7	–
Al	3	0,05	0,33	0,05 / 0,05** 0,06	0,12	0,2	–
Cu	3	< 0,01	0,11	0,01 / 0,02** 0,04	< 0,01	1	–
Fe	3	0,01	1,36	0,02 / 0,06** 0,10	0,36	0,3	–
Mn	3	0,01	0,64	0,02 / 0,01** 0,02	0,33	0,1	–
Zn	3	0,01	1,5	0,05 / 0,01** 0,01	0,01	1	–

Примечание: * — медиана и границы ее доверительного интервала; ** в числителе — медиана содержания в скважинах (глубина 70 м / 30–40 м); ** в знаменателе — медиана содержания в колодцах.

Гигиеническая оценка содержания металлов в питьевой воде подземных источников показала, что качество воды колодцев и большинства скважин по содержанию тяжелых металлов и мышьяка соответствует нормативным требованиям [10] (см. табл. 4).

В основной массе проб питьевой воды содержание элементов 1-го и 2-го классов опасности не превышает 0,1 ПДК. Превышение ПДК по железу (3-й класс опасности) отмечено в 40% проб воды из колодцев. В скважинах глубиной 30–40 м, используемых для питьевого водоснабжения частных домов, выявлено присутствие мышьяка (1-й класс опасности) на уровне ПДК и выше.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Гигиеническая обстановка в районе размещения вводимого в эксплуатацию на базе ПВХ б. Сысоева РЦКДХ характеризуется рядом особенностей. Грунты зоны строительства РЦКДХ по удельной активности

техногенных радионуклидов удовлетворяют требованиям неограниченного использования твердых материалов в хозяйственной деятельности согласно ОСПОРБ-99/2010. МАЭД соответствует уровню естественного радиационного фона региона. Гигиеническая обстановка осложняется присутствием элементов первого класса опасности (свинец, мышьяк) в содержаниях выше ПДК. Радиационная обстановка на территории проживания населения в районе размещения РЦКДХ соответствует региональным фоновым значениям, что наблюдается и в районах размещения хранилищ РАО бывших береговых технических баз Северного флота на Северо-западе России [17]. При этом необходимым параметром контроля является загрязнение подземных вод как радиационное, так и химическое.

На основе данных, полученных в результате натурных и лабораторных исследований, проведен анализ канцерогенных рисков для здоровья населения от воздействия радиационного и химического факторов.

Таблица 5. Содержание тяжелых металлов и мышьяка в почве и подземных водах в районе размещения РЦКДХ

Параметр	Удельная активность, Бк/кг(л)	Индивидуальный радиационный риск		
		Вид облучения		Суммарный
		внутреннее	внешнее	
Почва		3×10^{-8}	3×10^{-6}	3×10^{-6}
^{137}Cs	89	3×10^{-10}	2×10^{-6}	2×10^{-6}
^{90}Sr	160	3×10^{-8}	2×10^{-6}	2×10^{-6}
Вода		4×10^{-7}	–	4×10^{-7}
^{137}Cs	0,04	2×10^{-8}	–	2×10^{-8}
^{90}Sr	0,14	4×10^{-7}	–	4×10^{-7}
Пищевые продукты		8×10^{-7}	–	8×10^{-7}
^{137}Cs		7×10^{-8}	–	7×10^{-8}
^{90}Sr		7×10^{-7}	–	7×10^{-7}
Общий риск		1×10^{-6}	3×10^{-6}	4×10^{-6}

Расчет радиационного риска для населения п. Старый Дунай по путям облучения техногенными радионуклидами, присутствующими в почве, питьевой воде и продуктах, показал, что основной вклад вносит внешнее облучение от техногенных радионуклидов почвы (табл. 5). Радиационный риск возникновения злокачественных новообразований для всего населения от техногенного облучения, оцененный по суммарной СГЭД [11], составил 3×10^{-6} , что соответствует области приемлемых значений.

Канцерогенный риск химического фактора за счет тяжелых металлов, присутствующих в почве, находится на уровне приемлемого 1×10^{-6} (табл. 6). Риск от использования питьевой воды колодцев и скважин 5×10^{-6} соответствует уровню приемлемого риска для населения. Исключение составляет использование в питьевых целях воды скважин глубиной 30–40 м, где риск за счет присутствия мышьяка, достигает 5×10^{-4} , что неприемлемо для населения в целом [13] и требует детальных исследований. Как отмечалось выше, источники хозяйственно-питьевого водоснабжения п. Старый Дунай расположены на значительном удалении от ПВХ б. Сысоева и не подвергаются техногенному воздействию источников выбросов и сбросов промышленной площадки. Присутствие мышьяка выше ПДК в воде скважин глубиной 30–40 м может быть обусловлено природной особенностью водоносного горизонта данной местности.

Проведенные исследования показали, что канцерогенный риск здоровью населения п. Старый Дунай, проживающего в районе размещения РЦКДХ, обусловленный воздействием

радиационного фактора, составляет 4×10^{-6} и не превышает риск химического фактора 6×10^{-6} (с учетом мышьяка в воде риск достигает 5×10^{-4}).

ВЫВОДЫ

В работе представлены результаты комплексной гигиенической оценки территории расположения РЦКДХ в Дальневосточном регионе России перед вводом его в эксплуатацию. На основе проведенных исследований показано, что радиационная обстановка на территории объекта строительства и прилегающей селитебной территории характеризуется фоновыми значениями мощности дозы γ -излучения и содержания техногенных радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr в объектах окружающей среды. Наряду с этим отмечено повышенное содержание тяжелых металлов и мышьяка в грунтах на территории строительства производственного комплекса и в почве приусадебных участков селитебной территории. Качественный состав химического загрязнения в зоне строительства РЦКДХ определяется повышенным содержанием мышьяка, свинца, цинка, никеля, меди, ванадия и марганца, в селитебной зоне — цинка, свинца и меди. В целом согласно гигиенической оценке содержания тяжелых металлов в почвах исследуемых территорий степень их химического загрязнения можно охарактеризовать как «допустимая», в ряде проб отмечается превышение ПДК. Качество питьевой воды в селитебной зоне соответствует требованиям, предъявляемым для подземных вод,

Таблица 6. Индивидуальный канцерогенный риск химического фактора для населения п. Старый Дунай

Параметр	Концентрация, мг/кг (л)	Индивидуальный канцерогенный риск			
		Путь поступления			Суммарный
		перорально	ингаляционно	накожно	
Почва		4×10 ⁻⁸	9×10 ⁻⁷	3×10 ⁻⁸	1×10 ⁻⁶
Cr	300	–	9×10 ⁻⁷	–	9×10 ⁻⁷
Pb	250	4×10 ⁻⁸	8×10 ⁻¹⁰	3×10 ⁻⁸	7×10 ⁻⁸
Ni	47	–	2×10 ⁻⁹	–	3×10 ⁻⁹
Питьевая вода*		4×10 ⁻⁶	–	8×10 ⁻⁷	5×10 ⁻⁶
As	0,025	5×10 ⁻⁴	–	1×10 ⁻⁵	5×10 ⁻⁴
Cd	0,00052	2×10 ⁻⁶	–	6×10 ⁻⁷	3×10 ⁻⁶
Pb	0,02	2×10 ⁻⁶	–	2×10 ⁻⁷	2×10 ⁻⁶
Общий канцерогенный риск* (вода + почва)		4×10 ⁻⁶	9×10 ⁻⁷	8×10 ⁻⁷	6×10 ⁻⁶

Примечание: * — рассчитано без учета скважин глубиной 30–40 м.

используемых для нецентрализованного водоснабжения, за исключением локальных скважин, где выявлено присутствие мышьяка выше ПДК. Наличие мышьяка в исследуемых подземных водах и почвах может быть обусловлено природной особенностью региона, связанной с повышенным содержанием этого элемента в объектах окружающей среды, что требует уточнения и проведения дальнейших исследований. Сравнительная оценка канцерогенного риска для здоровья населения от воздействия радиационного фактора и химического загрязнения окружающей среды показала сопоставимые результаты, ориентировочный уровень риска не превышает 10^{-6} и является пренебрежимо малым. Результаты исследований позволяют заключить, что гигиеническая обстановка, определяемая прошлой и текущей

производственной деятельностью предприятия (до ввода в эксплуатацию РЦКДХ), не формирует дополнительных рисков для здоровья, обусловленных воздействием техногенных радионуклидов и тяжелых металлов на окружающую среду и население, проживающее в районе его расположения.

Результаты комплексной гигиенической оценки, полученные перед вводом в эксплуатацию РЦКДХ, являются основой для установления референсных значений содержания техногенных радионуклидов и тяжелых металлов в окружающей среде и могут быть использованы в практике регулирующего надзора за обеспечением безопасности населения в процессе эксплуатации предприятия.

Литература

1. Удалова А. А., Гераскин С. А., Алексахин Р. М., Киселев С. М., Современные подходы к оценке радиационного воздействия на окружающую среду. Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2013; 58 (4): 23–33.
2. Шандала Н. К., Киселев С. М., Титов А. В., Серёгин В. А., Исаев Д. В., Ахромеев С. В. и др. Регулирующий надзор и оценка радиационной обстановки в районах размещения бывших военных технических баз. Гигиена и санитария. 2013; 92 (3): 15–19.
3. Отчет по экологической безопасности Дальневосточного центра по обращению с радиоактивными отходами — филиала федерального государственного унитарного предприятия «Предприятие по обращению с радиоактивными отходами «РосРАО» (ДВЦ «ДальРАО» — филиала ФГУП «РосРАО»). 2019 г. Доступно по ссылке: <https://www.rosatom.ru/upload/iblock/109/109b27982c8cfd90a72224db545c17be.pdf>.
4. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009) от 02.07.2009. СанПиН 2.6.1.2523-09. Доступно по ссылке: https://www.np-ciz.ru/userfiles/2_6_1_2523-09.pdf.
5. Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 2019 г. Ежегодник. Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации. Обнинск, 2020; 343 с. Доступно по ссылке: https://www.rpatyphoon.ru/upload/medialibrary/187/ezhegodnik_ro_2019.pdf.
6. Статистические методы. Статистическое представление данных. Медиана. Определение точечной оценки и доверительных интервалов. ГОСТ Р ИСО 16269-7-2004. Доступно по ссылке: <https://docs.cntd.ru/document/1200035332>.
7. Ионизирующее излучение, радиационная безопасность. Проведение комплексного экспедиционного радиационно-гигиенического обследования населенного пункта для оценки доз облучения населения. Методические рекомендации. МР 2.6.1.0006-10. Доступно по ссылке: <https://docs.cntd.ru/document/1200085909>.
8. Ионизирующее излучение, радиационная безопасность. Контроль доз облучения населения, проживающего в зоне наблюдения радиационного объекта, в условиях его нормальной эксплуатации и радиационной аварии. Методические рекомендации. МР 2.6.1.0063-12. Доступно по ссылке: <https://docs.cntd.ru/document/1200095229>.
9. Почва, очистка населенных мест, бытовые и промышленные отходы, санитарная охрана почвы. Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест. Методические указания. МУ 2.1.7.730-99. Доступно по ссылке: <https://docs.cntd.ru/document/1200003852>.
10. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. СанПиН 1.2.3685-21. Доступно по ссылке: <https://docs.cntd.ru/document/573500115>.
11. Оценка радиационного риска у населения за счет длительного равномерного техногенного облучения в малых дозах. Методические указания. МУ 2.1.10.3014-12. Доступно по ссылке: <https://docs.cntd.ru/document/1200095241>.
12. Методика оценки радиационных рисков на основе данных мониторинга радиационной обстановки. Рекомендации. Р 52.18.787-2013. Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2014; 116 с. Доступно по ссылке: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293754/4293754569.pdf>.
13. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. Рекомендации. Р 2.1.10.1920-04. Доступно по ссылке: <https://docs.cntd.ru/document/1200037399>.
14. Ахромеев С. В., Киселев С. М., Титов А. В., Серёгин В. А., Шлыгин В. В., Старинская Р. А. Исследование радиационной обстановки на объектах ядерного наследия в Дальневосточном регионе России. АНРИ. 2016; 1 (84): 65–71.
15. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010). СП 2.6.1.2612-10. Доступно по ссылке: https://orfi.ru/files/doc/uchcenter/osporb_2612612-10.pdf.
16. Гигиенические требования к безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов. СанПиН 2.3.21078-01. Доступно по ссылке: <https://docs.cntd.ru/document/901806306>.
17. Shandala NK, Sneve MK, Titov AV, Smith GM, Novikova NYa, Romanov VV, et al. Radiological criteria for the remediation of sites for spent fuel and radioactive waste storage in the Russian Northwest. Journal of Radiological Protection. 2008; 28: 479–97.

References

1. Udalova AA, Geraskin SA, Aleksahin RM, Kiselev SM, Sovremennye podhody k ocenke radiacionnogo vozdeystviya na okruzhajushhuyu sredu. Medicinskaja radiologija i radiacionnaja bezopasnost'. 2013; 58 (4): 23–33. Russian.
2. Shandala NK, Kiselev SM, Titov AV, Serjogin VA, Isaev DV, Ahromeev SV, i dr. Regulirujushhij nadzor i ocenka radiacionnoj obstanovki v rajonah razmeshhenija byvshih voennyh tehniceskikh baz. Gigiena i sanitarija. 2013; 92 (3): 15–19. Russian.
3. Otchet po jekologicheskoj bezopasnosti Dal'nevostochnogo centra po obrashheniju s radioaktivnymi othodami — filiala federal'nogo gosudarstvennogo unitarnogo predprijatija «Predpriatie po obrashheniju s radioaktivnymi othodami «RosRAO» (DVC «Dal'RAO» — filiala FGUP «RosRAO»). 2019 g. Dostupno po ssylke: <https://www.rosatom.ru/upload/iblock/109/109b27982c8cfd90a72224db545c17be.pdf>. Russian.
4. Normy radiacionnoj bezopasnosti (NRB-99/2009) ot 02.07.2009.

- SanPiN 2.6.1.2523-09. Dostupno po ssylke: https://www.np-ciz.ru/userfiles/2_6_1_2523-09.pdf. Russian.
5. Radiacionnaja obstanovka na territorii Rossii i sopredel'nyh gosudarstv v 2019 g. Ezhegodnik. Ministerstvo prirodnih resursov i jekologii Rossijskoj Federacii. Obninsk, 2020; 343 s. Dostupno po ssylke: https://www.rpatyphoon.ru/upload/medialibrary/187/ezhegodnik_ro_2019.pdf. Russian.
 6. Statisticheskie metody. Statisticheskoe predstavlenie dannyh. Mediana. Opredelenie tochechnoj ocenki i doveritel'nyh intervalov. GOST R ISO 16269-7-2004. Dostupno po ssylke: <https://docs.cntd.ru/document/1200035332>. Russian.
 7. Ionizirujushhee izluchenie, radiacionnaja bezopasnost'. Provedenie kompleksnogo jekspedicionnogo radiacionnogo-gigienicheskogo obsledovaniya naselennogo punkta dlja ocenki doz oblucheniya naselenija. Metodicheskie rekomendacii. MR 2.6.1.0006-10. Dostupno po ssylke: <https://docs.cntd.ru/document/1200085909>. Russian.
 8. Ionizirujushhee izluchenie, radiacionnaja bezopasnost'. Kontrol' doz oblucheniya naselenija, prozhivajushhego v zone nabljudeniya radiacionnogo ob"ekta, v uslovijah ego normal'noj jekspluatcii i radiacionnoj avarii. Metodicheskie rekomendacii. MR 2.6.1.0063-12. Dostupno po ssylke: <https://docs.cntd.ru/document/1200095229>. Russian.
 9. Pochva, ochildka naselennyh mest, bytovye i promyshlennye othody, sanitarnaja ohrana pochvy. Gigienicheskaja ocenka kachestva pochvy naselennyh mest. Metodicheskie ukazaniya. MU 2.1.7.730-99. Dostupno po ssylke: <https://docs.cntd.ru/document/1200003852>. Russian.
 10. Gigienicheskie normativy i trebovaniya k obespecheniju bezopasnosti i (ili) bezvrednosti dlja cheloveka faktorov sredy obitaniya. SanPiN 1.2.3685-21. Dostupno po ssylke: <https://docs.cntd.ru/document/573500115>. Russian.
 11. Ocenka radiacionnogo riska u naselenija za schet dlitel'nogo ravnomernogo tehnogennogo oblucheniya v mal'nyh dozah. Metodicheskie ukazaniya. MU 2.1.10.3014-12. Dostupno po ssylke: <https://docs.cntd.ru/document/1200095241>. Russian.
 12. Metodika ocenki radiacionnyh riskov na osnove dannyh monitoringa radiacionnoj obstanovki. Rekomendacii. R 52.18.787-2013. Obninsk: FGBU «VNIIGMI-MCD», 2014; 116 s. Dostupno po ssylke: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293754/4293754569.pdf>. Russian.
 13. Rukovodstvo po ocenke riska dlja zdorov'ja naselenija pri vozdejstvii himicheskikh veshhestv, zagraznjajushchih okruzhajushhuju sredu. Rekomendacii. R 2.1.10.1920-04. Dostupno po ssylke: <https://docs.cntd.ru/document/1200037399>. Russian.
 14. Akhromeev SV, Kiselev SM, Titov AV, Seregin VA, Shlygin VV, Starinskaja RA. Issledovanie radiacionnoj obstanovki na ob"ektah jadernogo nasledija v Dal'nevostochnom regione Rossii. ANRI. 2016; 1 (84): 65–71. Russian.
 15. Osnovnye sanitarnye pravila obespechenija radiacionnoj bezopasnosti (OSPORB-99/2010). SP 2.6.1.2612-10. Dostupno po ssylke: https://orfi.ru/files/doc/uchcenter/osporb_2612612-10.pdf.
 16. Gigienicheskie trebovaniya k bezopasnosti i pishhevoj cennosti pishhevyh produktov. SanPiN 2.3.21078-01. Dostupno po ssylke: <https://docs.cntd.ru/document/901806306>. Russian.
 17. Shandala NK, Sneve MK, Titov AV, Smith GM, Novikova NYa, Romanov VV, et al. Radiological criteria for the remediation of sites for spent fuel and radioactive waste storage in the Russian Northwest. Journal of Radiological Protection. 2008; 28: 479–97.