

© КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ, 2024

Поляков А.Д.^{1,2}, Комбарова М.Ю.^{1,2}, Радилев А.С.¹, Аликбаева Л.А.², Якубова И.Ш.², Суворова А.В.², Хурцилава О.Г.²

Гигиеническая оценка загрязнения территории космодрома «Восточный» от предшествующей ракетно-космической деятельности

¹ФГУП «Научно-исследовательский институт гигиены, профпатологии и экологии человека» Федерального медико-биологического агентства, 188663, Ленинградская область, Российская Федерация;

²ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет имени И.И. Мечникова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, 191015, Санкт-Петербург, Российская Федерация

РЕЗЮМЕ

Введение. Актуальность исследования определена наличием на территории Амурской области значительного числа объектов, сформированных в результате предшествующей ракетно-космической деятельности, и законодательным закреплением задач ликвидации таких объектов и эколого-гигиенической оценки территории.

Материал и методы. Проведено комплексное обследование после вывода из эксплуатации и ликвидации боевых стартовых позиций (БСП) жидкостных межконтинентальных баллистических ракет (МБР) шахтного базирования территории, прилегающей к космодрому «Восточный». На бывших площадках шахтно-пусковых установок (ШПУ) к числу потенциальных загрязнителей относятся остатки высокотоксичных и чрезвычайно опасных компонентов жидкого ракетного топлива и продукты их трансформации, тяжелые металлы, мышьяк, нефтепродукты, бенз(а)пирен. В аккредитованной испытательной лаборатории выполнены исследования по определению в почве и растительности качественного и количественного содержания несимметричного диметилгидразина (НДМГ) и продуктов его деструкции, тяжёлых металлов, радионуклидов.

Результаты. Показано, что основным фактором на бывших БСП являются локальные загрязнения почвы (грунтов) компонентами жидкого ракетного топлива, нефтепродуктами, продуктами их горения, соединениями тяжелых металлов и некоторыми другими токсичными веществами. В почвах наземных БСП с МБР группового размещения обнаружены близкие по уровню к ПДК почвы локальные загрязнения НДМГ, тяжелыми металлами и их соединениями, бенз(а)пиреном. Так же выявлены очаги загрязнения соединениями цинка до уровня 3,1 ПДК почвы, меди – 13,4 ПДК почвы, свинца – более чем 70 ПДК почвы, мышьяка – 3,2 ОДК. Загрязнение почвы нефтепродуктами по медианным показаниям соответствует фоновым значениям.

Суммарный индивидуальный канцерогенный риск для детского населения по всем путям поступления химических веществ с почвой на площадках бывших БСП составил 2,55Е–06, для взрослого населения 3,28Е–06, что соответствует приемлемому уровню риска, но требующему постоянного контроля.

Ограничения исследования. Они обусловлены рядом неопределённостей, связанных с неполными сведениями обо всех возможных контаминантах объектов окружающей среды, а также с невысоким уровнем чувствительности применяемых аналитических методов по сравнению с референтными концентрациями, что может привести к переоценке возможной экспозиции.

Заключение. По результатам проведенного исследования местной администрации рекомендовано на вскрытых после рекультивации площадках бывших ШПУ организовать восстановительные работы, включить в программу реализации муниципальной программы «Снижение рисков и смягчение последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, а также обеспечение безопасности населения ЗАТО «Циолковский» – благоустройство данных площадок.

Ключевые слова: космодром «Восточный»; город Циолковский; риск здоровью населения; ракетно-космическая деятельность; химические загрязнители; ликвидация шахтно-пусковых установок

Соблюдение этических стандартов. Исследование не требует представления заключения комитета по биомедицинской этике или иных документов.

Для цитирования: Поляков А.Д., Комбарова М.Ю., Радилев А.С., Аликбаева Л.А., Якубова И.Ш., Суворова А.В., Хурцилава О.Г. Гигиеническая оценка загрязнения территории космодрома «Восточный» от предшествующей ракетно-космической деятельности. *Токсикологический вестник*. 2024; 32(3): 162–170. <https://doi.org/10.47470/0869-7922-2024-32-3-162-170>

Для корреспонденции: Поляков Артем Дмитриевич, аспирант кафедры общей и военной гигиены ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова» Минздрава России; научный сотрудник ФГУП «НИИ ГПЭЧ» ФМБА России, 188663, Ленинградская область. E-mail: tema.poliackow2011@yandex.ru

Участие авторов: Поляков А.Д. – сбор материала и обработка данных, написание текста, обзор публикаций по теме статьи, концепция и дизайн исследования, редактирование; Комбарова М.Ю., Радиллов А.С., Аликбаева Л.А. Якубова И.Ш., Суворова А.В., Хурцилава О.Г. – концепция и дизайн исследования, редактирование. Все соавторы – утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Исследование проведено в рамках Федеральной целевой программы «Развитие космодромов на период 2017–2025 годов в обеспечении космической деятельности Российской Федерации».

Поступила в редакцию: 26.12.2023 / Принята в печать: 05.05.2024 / Опубликовано: 28.06.2024

Artem D. Polyakov^{1,2}, Maria Yu. Kombarova^{1,2}, Andrey S. Radilov¹, Liliya A. Alikbaeva², Irek Sh. Yakubova², Anna V. Suvorova², Otari G. Khurtsilava²

Hygienic assessment of contamination of the territory of the Vostochny cosmodrome from previous rocket and space activities

¹Federal State Unitary Enterprise “Scientific Research Institute of Hygiene, Occupational Pathology and Human Ecology” of the FMBA of Russia, 188663, Leningrad Region, Russian Federation;

²Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov” of the Ministry of Health of the Russian Federation, 191015, Saint Petersburg, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. The relevance of the study is determined by the presence on the territory of the Amur region of a significant number of objects formed as a result of previous rocket and space activities, and the legislative consolidation of the tasks of eliminating such objects and ecological and hygienic assessment of the territory.

Material and methods. A comprehensive examination was carried out after the decommissioning and liquidation of combat launch positions (CLPs) of silo-based liquid-fueled intercontinental ballistic missiles (ICBMs) of the territory adjacent to the Vostochny cosmodrome. At former sites of silo-launching installations (SLIs), potential pollutants include residues of highly toxic and extremely dangerous components of liquid rocket fuel and their transformation products, heavy metals, arsenic, petroleum products, and benzo(a)pyrene. In an accredited testing laboratory, studies were carried out to determine the qualitative and quantitative content of unsymmetrical dimethylhydrazine (UDMH) and its destruction products, heavy metals, and radionuclides in soil and vegetation.

Results. It has been shown that the main factor at former CLPs is local contamination of the soil (grounds) with components of liquid rocket fuel, petroleum products, their combustion products, heavy metal compounds and some other toxic substances. In the soils of terrestrial CLPs with group ICBMs, local contamination with UDMH, heavy metals and their compounds, and benzo(a)pyrene was found close in level to the soil MPC. Foci of contamination with zinc compounds up to a level of 3.1 MPC of soil, copper – 13.4 MPC of soil, lead – more than 70 MPC of soil, arsenic – 3.2 APC were also identified. Soil contamination with petroleum products according to median readings corresponds to background values. The total individual carcinogenic risk for the children’s population along all routes of entry of chemicals with soil at the sites of the former CLPs was 2.55E–06, for the adult population 3.28E–06, which corresponds to an acceptable level of risk, but requiring constant monitoring.

Limitations. A number of uncertainties associated with incomplete information about all possible contaminants of environmental objects, as well as a low level of sensitivity of the analytical methods used compared to reference concentrations, which can lead to an overestimation of possible exposure.

Conclusion. According to the results of the study, the local administration was recommended to organize restoration work on the former sites of SLIs after reclamation and include the point of upgrading these sites in the plan of implementation of the municipal program “Risk reduction and mitigation of the consequences of natural and technogenic emergencies, as well as ensuring the safety of the closed administrative-territorial formation “Tsiolkovsky”.

Keywords: cosmodrome “Vostochny”; city of Tsiolkovsky; public health risk; rocket and space activities; chemical pollutants; elimination of silo launchers

Compliance with ethical standards. The study does not require submission of the opinion of the biomedical ethics committee or other documents.

For citation: Polyakov A.D., Kombarova M.Yu., Radilov A.S., Alikbaeva L.A., Yakubova I.Sh., Suvorova A.V., Khurtsilava O.G. Hygienic assessment of contamination of the territory of the Vostochny cosmodrome from previous rocket and space activities. *Toksikologicheskii vestnik / Toxicological Review*. 2024;32(3):162–170. <https://doi.org/10.47470/0869-7922-2024-32-3-162-170> (in Russian)

For correspondence: Artem D. Polyakov, postgraduate student of the Department of the general and military hygiene of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov” of the Ministry of Health of the Russian Federation, researcher of the Federal State Unitary Enterprise “Scientific Research Institute of Hygiene, Occupational Pathology and Human Ecology” of the FMBA of Russia, 188663, Leningrad Region, Russian Federation. E-mail: tema.poliackow2011@yandex.ru

Author contribution: Polyakov A.D. – collection of material and data processing, writing the text, reviewing publications on the topic of the article, concept and design of the study, editing; Kombarova M.Yu., Radilov A.S., Alikbaeva L.A. Yakubova I.Sh., Suvorova A.V., Khurtsilava O.G. – concept and design of the study, editing. All co-authors – approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgment. The study had no sponsorship. Conducted within the framework of the Federal Target Program “Development of cosmodromes for the period 2017–2025 in support of space activities of the Russian Federation”.

Received: December 26, 2023 / Accepted: May 5, 2024 / Published: June 28, 2024

Введение

В районе размещения космодрома «Восточный» и прилегающих территорий к городу Циолковский находятся объекты, сформированные в результате предшествующей ракетно-космической деятельности (далее РКД), которые могут оказывать отрицательное воздействие на здоровье человека, к таким объектам относятся бывшие наземные и шахтные боевые стартовые позиции (далее БСП) ракетного соединения, на котором за весь период его функционирования в шести позиционных районах находились в эксплуатации 60 площадок БСП с шахтно-пусковыми установками (ШПУ) отдельного старта, семь площадок БСП наземного старта и одна площадка БСП с тремя ШПУ группового старта [1].

В подавляющем большинстве бывшие БСП предназначались для эксплуатации жидкостных межконтинентальных баллистических ракет (далее МБР) на высокотоксичных и чрезвычайно опасных компонентах ракетного топлива. Из наиболее вероятных поллютантов, загрязняющих окружающую среду надо выделить отдельные компоненты ракетного горючего, а именно несимметричный диметилгидразин (НДМГ, гептил), относящийся к первому классу опасности, и продукты его деструкции (нитрозодиметиламин (НДМА), диметиламин (ДМА), тетраметилтетразен (ТМТ), формальдегид (ФА)), а также нефтепродукты, тяжёлые металлы [2–4].

По мнению исследователей [1–8], возможными негативными гигиеническими последствиями ликвидации БСП являются накопление, миграция и переход в новые химические формы специфических загрязнителей. Часть поступающих

загрязнителей в окружающую среду испаряется, другая – проникает в почву, растворяется в воде, захватывается растительностью, переносится водами за пределы районов первичного загрязнения. В конечном итоге, токсичные компоненты могут попадать в организм человека, что представляет потенциальную опасность развития нарушений здоровья [1–8].

В 1976–1994 гг. все БСП на данной территории, выработавшие установленный срок служебной пригодности, выведены из эксплуатации и ликвидированы методом подрыва. В 2000-х годах на БСП с ШПУ отдельного старта проведена техническая рекультивация нарушенных почв. На БСП наземного и группового размещения рекультивация не проводилась. На текущий момент доступные данные о современном состоянии бывших площадок БСП отсутствуют, характеристика их гигиенического состояния может быть получена только путем натурных исследований.

На сегодняшний день проблемным остается вопрос контроля и оперативной гигиенической оценки состояния бывших площадок БСП, имеющих свободный доступ. Неохраняемые территории площадок, незначительная удаленность от города делают бывшие площадки БСП легко доступными для местного населения. В течение ряда лет площадки ШПУ подвергались естественному и целенаправленному разрушению.

Таким образом, в настоящее время актуальным является проведение гигиенической оценки территорий размещения бывших наземных и шахтных БСП после их полной ликвидации и рекультивации нарушенных почв и выполнение на основе полученных данных оценки риска здоровью населения с использованием утверждённой

методологии, изложенной в Р 2.1.10.1920–04¹. Данные положения определили *цель* настоящего исследования.

Материал и методы

Работа выполнена в рамках Федеральной целевой программы «Развитие космодромов на период 2017–2025 гг. в обеспечении космической деятельности Российской Федерации». Объектом исследования явились территории, выведенные из эксплуатации, на которых ликвидированы методом подрыва объекты и частично подвергнутые технической рекультивации, наземные и шахтные боевые стартовые позиции (БСП), предназначенные для эксплуатации жидкостных межконтинентальных баллистических ракет (МБР) на высокотоксичных и чрезвычайно опасных компонентах ракетных топлив.

В рамках научно-исследовательской работы в 2017–2020 гг. проведены натурные исследования почвы и растительности ближайших к городу Циолковский площадок бывших БСП с шахтно-пусковыми установками (ШПУ) одиночного старта 1-, 2- и 5-го позиционных районов и бывших мест размещения наземных боевых ракетных комплексов (БРК).

Для всех пробных площадок БСП с ШПУ отдельного старта характерно низкое качество рекультивации, отмечены провалы грунта, открытые люки, раскопы. Все площадки заросли травой и со всех сторон окружены деревьями. С южной стороны площадки ШПУ № 1 второго позиционного района образована несанкционированная свалка производственных отходов.

На бывших наземных БСП группового старта рекультивация не проводилась, на территории в большом количестве находятся остатки подземных и наземных сооружений. Площадки заросли кустарником и деревьями, по данным публичной кадастровой карты, отнесены к землям лесного фонда.

Для исследования отобрано 5 проб почвы с площадок бывших БСП с ШПУ одиночного старта и 15 проб с территории наземных БСП группового старта.

Пробы растительных материалов (хвои, сосны) отобраны на границах бывших площадок ШПУ и БСП наземного базирования, отбор произведен в тех же местах, что и пробы почвы.

Для отбора фоновых проб почвы и растительности определено три контрольные площадки:

К-1 – поле и карьер с водой у села Чудиново, К-2 – поле с непроточным водоемом к северу от города Циолковский и К-3 – поле с непроточным водоемом к югу от города Циолковский.

Объем исследований и перечень загрязнителей определен в соответствии с требованиями методического пособия² по веществам, загрязнение которыми наиболее вероятно в ходе эксплуатации и ликвидации БРК с жидкостными МБР:

- для почвы: несимметричный диметилгидразин (НДМГ) и продукты его деструкции: N-нитрозодиметиламин (NDMA), триметилтиазолин (ТМТ), диметилэтанолламин (ДМА) и фторацетат (ФА); тяжелые металлы: свинец, ртуть, никель, кадмий, кобальт, цинк, медь, хром; бенз(а)пирен, мышьяк, нефтепродукты;
- для растительности: НДМГ.

Отбор проб выполнен сотрудниками ООО «ЭкоРК» по заказу Федерального государственного унитарного предприятия «Научно-исследовательский институт гигиены, профпатологии и экологии человека» Федерального медико-биологического агентства (далее ФГУП «НИИ ГПЭЧ» ФМБА России). Для выполнения исследований привлечён Испытательный аналитический центр Научно-исследовательского института химии ФГАОУ ВО «Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского».

Расчёты, оценку и интерпретацию уровней канцерогенного и неканцерогенного риска для здоровья населения проводили по утверждённой методологии, изложенной в Р 2.1.10.1920–04¹. При характеристике риска для здоровья населения ориентировались на общепринятую систему критериев приемлемости: для канцерогенного риска диапазон допустимого уровня – от $1,0E-06$ до $1,0E-04$, для неканцерогенного – значение индекса опасности, не превышающее 1,0.

Систематизацию исходной информации и визуализацию полученных результатов осуществляли с помощью программы Statistica 10 для Windows. Для количественных показателей рассчитывали: средне арифметическое (M), стандартную ошибку среднего (m), медиану (Me), минимум (\min), максимум (\max).

Результаты

В результате проведенных исследований установлено, что на всей обследуемой территории обнаружены как рекультивированные, так и нереккультивированные площадки. Имеет место

¹ Р 2.1.10.1920–04 «Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду». М: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004; 143 с.

² Методическое пособие по обеспечению экологической безопасности территорий размещения шахтных пусковых установок после вывода их из эксплуатации и рекультивации земель. М.: ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна. 2018: 62 с.

Таблица 1 / Table 1

Содержание загрязняющих веществ в почве на площадках бывших БСП с ШПУ одиночного старта
The content of pollutants in the soil at the sites of the former CLPs with SLIs

Вещество	Результаты определения, мг/кг				ПДК / ОДК в почве, мг/кг	Фон, мг/кг, Me
	min	max	Me	M		
НДМГ	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	0,1 / –	< 0,02
Нитрозодиметиламин (НДМА)	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	– / –	< 0,02
Диметиламин (ДМА)	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	– / –	< 0,04
Тетраметилтетразен (ТМТ)	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,1 / –	< 0,05
Формальдегид	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	7,0 / –	< 0,05
Хром (Cr ⁺³)*	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	6,0 / –	< 2,0
Кобальт*	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	5,0 / –	< 2,0
Медь*	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	3,0 / –	< 2,0
Никель*	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	4,0 / –	< 2,0
Свинец*	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	6,0 / –	< 2,0
Цинк*	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	23,0 / –	< 1,0
Мышьяк**	< 1,0	7,2 ± 2,1	4,0 ± 1,2	3,24	– / 10,0	5,4 ± 1,9
Кадмий**	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	– / 2,0	< 2,0
Ртуть**	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	2,1 / –	< 2,0
Нефтепродукты	113 ± 28	230 ± 57	120 ± 30	143,2	– / –	218,0 ± 55,0
Бенз(а)пирен	0,0027 ± 0,0007	0,0039 ± 0,0010	0,0035 ± 0,0009	0,0029	0,02 / –	0,0031 ± 0,0008

Примечание. Здесь и в табл. 2: Me – медиана; M – среднее; * подвижные формы элементов; ** валовые формы элементов.
Note: Here and in Table 2: Me – median; M – average; * Movable forms of elements; ** Gross element shapes.

захламление бывших площадок ШПУ и прилегающих к ним территорий строительным мусором. Выявлены факты несанкционированного участия местного населения в раскопках на территории некогда рекультивированных площадок ШПУ с целью извлечения строительных материалов, железобетонных изделий и лома цветных и черных металлов. Удаленность от города Циолковский бывших площадок БСП составляет 2–7 км, что может представлять потенциальную опасность для здоровья населения.

По результатам лабораторных исследований проб почвы (8 образцов) с площадок бывших БСП с ШПУ одиночного старта на содержание НДМГ и продуктов его деструкции (НДМА, ДМА, ТМТ и ФА), бенз(а)пирена, мышьяка и тяжелых металлов: свинец, ртуть, никель, кадмий, кобальт, цинк, медь, хром превышений ПДК и ОДК не обнаружено (табл. 1).

В образцах растительности, отобранных с площадок бывших БСП и 3 контрольных – НДМГ не обнаружен.

Результаты лабораторных исследований проб почвы (15 проб) наземных БСП группового старта представлены в табл. 2.

НДМГ на уровне 0,6–0,8 ПДК обнаружен в пробах почвы, отобранных на площадках выжидания заправщиков ракетного горючего топлива и ближайших к ним (правых) стартовых сооружений наземных БСП. Содержание НДМГ на других БСП, а также продуктов деструкции НДМГ (НДМА, ДМА, ТМТ и ФА) на всех обследованных площадках находился ниже предела чувствительности применяемых методик выполнения измерений (МВИ).

Результаты исследования проб почвы на тяжелые металлы, показали, что содержание меди превышало ПДК почвы в 20% проб (от 1,1 до 14 ПДК), цинка – в 27% проб (от 1,2 до 3 ПДК), свинца в – 40% проб (от 1,9 до 73 ПДК). По содержанию мышьяка в 47% проб почвы значения превышали норматив ОДК для глинистых и суглинистых почв (10,0 мг/кг), но не превышали максимальные фоновые (контрольные) значения. Содержание бенз(а)пирена в 35% проб почвы, отобранных на БСП 11, 13 и 31, превышали ПДК (0,02 мг/кг) в 1,2–3 раза. Содержание валовых форм кадмия и ртути находились ниже предела чувствительности применяемых методик выполнения измерений (МВИ).

Таблица 2 / Table 2

Содержание загрязняющих веществ в почве на площадках бывших БСП наземного старта
The content of pollutants in the soil at the sites of the former ground CLPs

Вещество	Результаты определения, мг/кг				ПДК / ОДК в почве, мг/кг	Фон, мг/кг, Me
	min	max	Me	M		
НДМГ	< 0,02	0,08 ± 0,04	< 0,02	0,032	0,1 / -	< 0,02
Нитрозодиметиламин (НДМА)	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	- / -	< 0,02
Диметиламин (ДМА)	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	- / -	< 0,04
Тетраметилтетразен (ТМТ)	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,1 / -	< 0,05
Формальдегид	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	7,0 / -	< 0,05
Хром (Cr ⁺³)*	< 2,0	3,3 ± 1,9	< 2,0	2,09	6,0 / -	< 2,0
Кобальт*	< 2,0	3,0 ± 1,3	< 2,0	2,0	5,0 / -	< 2,0
Медь*	< 2,0	41 ± 12	1,9 ± 0,8	4,87	3,0 / -	< 2,0
Никель*	< 2,0	3,2 ± 1,3	< 2,0	2,15	4,0 / -	< 2,0
Свинец*	< 2,0	438 ± 123	5,2 ± 1,9	40,13	6,0 / -	< 2,0
Цинк*	1,6 ± 0,6	72 ± 32	5,0 ± 2,2	15,47	23,0 / -	< 1,0
Мышьяк**	< 1,0	32,0 ± 9,6	9,2 ± 2,8	11,18	- / 10,0	5,4 ± 1,9
Кадмий**	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	- / 2,0	< 2,0
Ртуть**	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	2,1 / -	< 2,0
Нефтепродукты	72,9 ± 18,2	280,6 ± 70,1	160,5 ± 40,1	156,77	- / -	218,0 ± 55,0
Бенз(а)пирен	< 0,01	0,06 ± 0,03	0,027 ± 0,014	0,015	0,02 / -	0,0031 ± 0,0008

В образцах растительности с площадок бывших БСП наземного старта НДМГ не обнаружен.

Таким образом, на пяти бывших наземных БСП группового размещения МБР выявлены загрязнения почвы десятью веществами: НДМГ, соединениями кобальта, меди, никеля, свинца, хрома трехвалентного, цинка, мышьяка, а также бенз(а)пиреном и нефтепродуктами. Среднее содержание токсикантов в этой выборке образцов почвы превышало установленные гигиенические нормативы по меди, свинцу, мышьяку и бенз(а)пирену соответственно в 1,6; 6,6; 1,1 и 7,5 раз. Медианные значения оказались превышенными по сравнению с ПДК почвы только для бенз(а)пирена.

Обсуждение

На этапе идентификации установлено, что комбинированное поступление химических загрязнителей территорий бывших БСП (при хронической экспозиции) может обуславливать развитие нарушений здоровья со стороны системы крови (НДМГ, кобальт, никель, свинец, цинк), центральной нервной системы (НДМГ, мышьяк, свинец), печени (НДМГ, никель, хром (III), медь), сердечно-сосудистой системы (мышьяк, никель), почек (нефтепродукты, хром (III),

медь), желудочно-кишечного тракта (мышьяк, хром (III), медь, никель), гормональной системы (мышьяк, свинец), процессов развития (бенз(а)пирен, свинец), биохимии (свинец, цинк).

Кроме того, НДМГ, бенз(а)пирен, мышьяк, никель, кобальт, свинец являются потенциальными химическими канцерогенами по классификации МАИР и (или) U.S.EPA.

С целью оценки неканцерогенного риска получены значения коэффициентов опасности загрязнителей (табл. 3 и 4). Предварительно проведен расчет средних суточных доз при стандартных значениях факторов экспозиции при пероральном поступлении и кожной экспозиции токсикантов из почвы. Во избежание занижения степени опасности для расчета ориентировочных уровней риска использованы максимальные значения концентрации обнаруженных токсикантов (НДМГ, бенз(а)пирена, мышьяка, нефтепродуктов и ряда тяжелых металлов).

Расчитанные дозы при хроническом пероральном и кожном воздействии анализируемых веществ из почвы не превышали референтный уровень ни для взрослого, ни для детского населения. Коэффициенты опасности по группам населения характеризуют уровень неканцерогенного риска как малый, подлежащий периодическому контролю.

Таблица 3 / Table 3

Параметры риска здоровью населения при пероральном поступлении анализируемых веществ из почвы (бывшие площадки БСП)

Health risk parameters of the population in case of oral intake of analyzed substances from the soil (former CLPs)

Вещество	CAS	Взрослые		Дети	
		HQ _{so}	CR _{so}	HQ _{so}	CR _{so}
НДМГ	57-14-7	7,46E-08	6,15E-07	4,66E-07	3,29E-07
Бенз(а)пирен	50-32-8	1,57E-08	6,12E-09	6,70E-08	2,25E-09
Мышьяк	7440-382	1,39E-05	6,71E-07	7,83E-05	3,23E-07
Нефтепродукты	–	1,22E-06	–	9,21E-06	–
Никель	7440-02-0	2,09E-08	–	1,79E-07	–
Кобальт	7440-48-4	1,96E-08	–	1,74E-07	–
Медь	7440-50-8	3,34E-08	–	3,04E-07	–
Хром (Cr ⁺³)	16065-83-1	8,61E-08	–	6,86E-07	–
Свинец	7439-92-1	1,63E-05	2,88E-07	3,63E-05	5,49E-08
Цинк	7440-66-6	3,13E-08	–	1,27E-07	–
Сумма (¹ H _{lso} = ΣHQ _{so} , ² CR _{so} = ΣCR _{so})	–	3,17E-05 ¹	1,58E-06 ²	1,26E-04 ¹	7,10E-07 ²

Уровни канцерогенного риска, связанные с содержанием в почве НДМГ, бенз(а)пирена, мышьяка, кадмия и свинца (пероральный путь) как для детского, так и для взрослого населения оценивались как минимальные (см. табл. 3), при кожной экспозиции как для детского, так и для взрослого населения оценивались как предельно допустимые (см. табл. 4).

В связи с отсутствием значений фактора канцерогенного потенциала (SFO) у формальдегида, никеля и кобальта, канцерогенный риск для данных веществ не рассчитывался.

Суммарный индивидуальный канцерогенный риск для детского населения по всем путям поступления химических веществ с почвой на площадках бывших БСП составил 2,55E-06, для взрослого населения 3,28E-06, что соответствует приемлемому уровню риска, но требующему постоянного контроля (табл. 5).

Ограничения исследования. К ограничениям можно отнести ряд неопределённостей, связанных с неполными сведениями обо всех возможных контаминантах объектов окружающей среды, а также с невысоким уровнем чувствительности

Таблица 4 / Table 4

Параметры риска здоровью населения при кожной экспозиции анализируемых веществ из почвы (бывшие площадки БСП)

Health risk parameters for public health during skin exposure of analyzed substances from the soil (former CLPs)

Вещество	CAS	Взрослые		Дети	
		HQ _{sd}	CR _{sd}	HQ _{sd}	CR _{sd}
НДМГ	57-14-7	1,81E-08	7,89E-07	1,29E-04	8,52E-07
Бенз(а)пирен	50-32-8	3,44E-06	5,38E-09	1,86E-05	5,81E-09
Мышьяк	7440-382	4,02E-03	7,74E-07	2,17E-02	8,37E-07
Нефтепродукты	–	4,72E-03	–	2,55E-02	–
Никель	7440-02-0	2,29E-04	–	1,24E-03	–
Кобальт	7440-48-4	8,93E-06	–	4,83E-05	–
Медь	7440-50-8	1,56E-05	–	8,44E-05	–
Хром (Cr ⁺³)	16065-83-1	3,52E-05	–	1,90E-04	–
Свинец	7439-92-1	1,86E-03	1,31E-07	1,01E-02	1,42E-07
Цинк	7440-66-6	6,52E-06	–	3,53E-05	–
Сумма (¹ H _{lsd} = ΣHQ _{sd} , ² CR _{sd} = ΣCR _{sd})	–	1,09E-02 ¹	1,70E-06 ²	5,902E-02 ¹	1,84E-06 ²

Таблица 5 / Table 5

Уровни канцерогенного риска при многомаршрутной экспозиции химических веществ с почвой (бывшие площадки БСП)**Levels of carcinogenic risk during multi-route exposure of chemicals with soil (former CLPs)**

Путь поступления	НДМГ	Бенз(а)пирен	Мышьяк	Свинец	Сумма	Вклад, %
Взрослые						
Перорально	6,15E-07	6,12E-09	6,71E-07	2,88E-07	1,58E-06	48,2
Накожно	7,89E-07	5,38E-09	7,74E-07	1,31E-07	1,70E-06	51,8
Сумма	1,40E-06	1,15E-08	1,45E-06	4,19E-07	3,28E-06	100
Вклад, %	42,8	0,4	44,1	12,8	100	–
Дети						
Перорально	3,29E-07	2,25E-09	3,23E-07	5,49E-08	7,09E-07	27,9
Накожно	8,52E-07	5,81E-09	8,37E-07	1,42E-07	1,84E-06	72,1
Сумма	1,18E-06	8,06E-09	1,16E-06	1,97E-07	2,55E-06	100
Вклад, %	46,4	0,3	45,6	7,7	100	–

применяемых аналитических методов по сравнению с референтными концентрациями, что может привести к переоценке возможной экспозиции.

Заключение

Таким образом, гигиеническая оценка факторов окружающей среды в районе размещения космодрома «Восточный» и прилегающих территорий к городу Циолковский, сформированных в результате предшествующей ракетно-космической деятельности, показала, что в почвах бывших наземных БСП группового размещения обнаружены близкие по уровню к ПДК локальные загрязнения НДМГ, тяжелыми металлами и их соединениями, бенз(а)пиреном. Так же выявлены очаги загрязнения соединениями цинка до уровня 3,1 ПДК, меди – 13,4 ПДК, свинца – более чем 70 ПДК, мышьяка – 3,2 ОДК.

Несмотря на то, что суммарный индивидуальный канцерогенный риск как для детского, так и взрослого населения по всем путям поступления химических веществ с почвой на площадках бывших БСП соответствовал приемлемому уровню риска, тем не менее он требует организации постоянного контроля.

По результатам проведенного исследования местной администрации рекомендовано на вскрытых после рекультивации площадках бывших БСП и ШПУ организовать восстановительные работы, включить в программу реализации муниципальной программы «Снижение рисков и смягчение последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, а также обеспечение безопасности населения ЗАТО «Циолковский» благоустройство данных площадок.

ЛИТЕРАТУРА

- Комбарова М.Ю., Поляков А.Д. Гигиеническая оценка загрязненности почвы в зоне влияния космодрома «Восточный». *Профилактическая медицина – 2020: сборник научных трудов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием*. Санкт-Петербург. 18–19 ноября 2020 г. Под ред. А.В. Мельцера, И.Ш. Якубовой. СПб.: Изд-во СЗГМУ им. И.И. Мечникова. 2020; Ч. 1: 209–212. <https://elibrary.ru/klsqfx>
- Чистяков С.В. Алехнович А.В., Тарабара А.В. Эколого-гигиеническая и токсикологическая оценка окружающей среды в районе выведенных из эксплуатации бывших объектов Министерства обороны. *Гигиена и санитария*. 2017; 96(9): 833–9. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-9-833-839>
- Семёнова О.Н., Рябова Т.В., Худякова О.М., Смирнова С.В. Оценка загрязнения компонентами ракетного топлива рекультивированных территорий шахтных пусковых установок. *Медицина труда и промышленная экология*. 2021; 61(9): 567–71. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2021-61-9-567-571>
- Семёнова О.Н., Воронин Н.Ф., Иванов С.Е., Чистяков С.В. Научно-методическое обеспечение эколого-гигиенической безопасности территорий размещения шахтных пусковых установок после вывода их из эксплуатации и рекультивации земель. *Медицина экстремальных ситуаций*. 2020; 22(2): 186–92. <https://elibrary.ru/lzsjkx>
- Зайцева Н.В., Май И.В., Клейн С.В., Гуськов А.С., Колесникова Н.И., Максимова Е.В. Методические подходы и некоторые результаты оценки объектов накопленного вреда окружающей среды по критериям риска для здоровья населения. *Гигиена и санитария*. 2023; 102(5): 523–31. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-5-523-531> <https://elibrary.ru/tuttyj>
- Землянова М.А., Зайцева Н.В., Кольдибекова Ю.В., Пустовалова О.В. Изменения биохимических показателей у детей, подвергавшихся воздействию объектов накопленного вреда окружающей среде. *Гигиена и санитария*. 2022; 101(6): 675–82. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-6-675-682> <https://www.elibrary.ru/qfkdmr>
- Тарабара А.В., Батракова Г.М., Слюсарь Н.Н., Шуклина Л.М., Чистяков С.В. Об экологической обстановке в местах размещения бывших шахтных пусковых установок на территории Пермского края. В кн.: «Химия. Экология. Урбанистика: Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием». Пермь, 18–19 апреля 2019 г.; Пермь: Издательство Пермского национального политехнического университета; 2019; Т. 1: 223–28. <https://elibrary.ru/ghuinb>
- Семёнова О.Н., Иванов С.Е., Чистяков С.В., Рябова Т.В. Результаты мониторинга вредных химических факторов окружающей среды в районе расположения космодрома «Восточный» на начальном этапе его эксплуатации. *Амурский медицинский журнал*. 2018; 3 (23): 14–9.

REFERENCES

1. Kombarova M.Yu., Polyakov A.D. Hygienic assessment of soil contamination in the zone of influence of the Vostochny cosmodrome. *Preventive medicine – 2020: collection of scientific papers of the All-Russian scientific and practical conference with international participation [Profilakticheskaya medicina-2020: sbornik nauchny'x trudov Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii s mezhdunarodny'm uchastiem]*. Saint Petersburg. November 18–19, 2020. Ed. A.V. Meltzer, I.Sh. Yakubova. St. Petersburg: Publishing house of SZGMU im. I.I. Mechnikov. 2020; Part 1: 209–212. <https://elibrary.ru/klsgfx> (in Russian)
2. Chistyakov S.V. Alekhnovich A.V., Tarabara A.V. Ecological-hygienic and toxicological assessment of the environment in the area of decommissioned former facilities of the Ministry of Defense. *Gigiena i sanitariya*. 2017; 96(9): 833–9. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-9-833-839> (in Russian)
3. Semyonova O.N., Ryabova T.V., Khudyakova O.M., Smirnova S.V. Evaluation of contamination by rocket fuel components of reclaimed areas of silo launchers. *Medicina e' kstremal'ny'x situacij*. 2021; 61(9): 567–71. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2021-61-9-567-571> (in Russian)
4. Semyonova O.N., Voronin N.F., Ivanov S.E., Chistyakov S.V. Scientific and methodological support of environmental and hygienic safety of the territories where mine launchers are located after their decommissioning and land reclamation. *Medicina e' kstremal'ny'x situacij*. 2020; 22(2): 186–92. <https://elibrary.ru/laszjkp> (in Russian)
5. Zaitseva N.V., Mai I.V., Klein S.V., Guskov A.S., Kolesnikova N.I., Maksimova E.V. Methodological approaches and some results of assessing objects of accumulated environmental damage according to risk criteria for public health. *Gigiena i sanitariya*. 2023; 102(5): 523–31. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-5-523-531> <https://elibrary.ru/tuttyj> (in Russian)
6. Zemlyanova M.A., Zaitseva N.V., Koldibekova Yu.V., Pustovalova O.V. Changes in biochemical parameters in children exposed to objects of accumulated environmental damage. *Gigiena i sanitariya*. 2022; 101(6): 675–82. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-6-675-682> <https://www.elibrary.ru/qfkdmr> (in Russian)
7. Tarabara A.V., Batrakova G.M., Slyusar N.N., Shuklina L.M., Chistyakov S.V. On the environmental situation in the locations of the former mine launchers in the Perm Territory. In the book: "Chemistry. Ecology. Urban Studies: Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation" [Ximiya. E'kologiya. Urbanistika: Materialy' vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii s mezhdunarodny'm uchastiem]. Perm, April 18–19, 2019; Perm: Perm National Polytechnic University Publishing House; 2019; T. 1: 223–28. <https://elibrary.ru/guinhb> (in Russian)
8. Semyonova O.N., Ivanov S.E., Chistyakov S.V., Ryabova T.V. Results of monitoring harmful chemical environmental factors in the area of the Vostochny cosmodrome at the initial stage of its operation. *Amurskij medicinskij zhurnal*. 2018; 3(23): 14–19. (in Russian)

ОБ АВТОРАХ:

Поляков Артем Дмитриевич, очный аспирант кафедры общей и военной гигиены ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова» МЗ РФ, научный сотрудник ФГУП «НИИ ГПЭЧ» ФМБА России, 188663, Ленинградская область, Российская Федерация, E-mail: tema.poliackow2011@yandex.ru

Комбарова Мария Юрьевна, кандидат медицинских наук, ассистент кафедры общей и военной гигиены ФГБОУ ВО СЗГМУ им. И.И. Мечникова МЗ РФ, заведующий отделом общей гигиены и экологии человека ФГУП «НИИ ГПЭЧ» ФМБА России, 188663, Ленинградская область, Российская Федерация. E-mail: kombar_73@mail.ru

Радилов Андрей Станиславович, доктор медицинских наук, профессор, и.о. директора ФГУП «НИИ ГПЭЧ» ФМБА России, 188663, Ленинградская область, Российская Федерация, E-mail: niigrech@rihophe.ru

Аликбаева Лилия Абдулняимовна, доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой общей и военной гигиены ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова» МЗ РФ, 191015, Санкт-Петербург, Российская Федерация. E-mail: alikkaeva@mail.ru

Якубова Ирек Шавкатовна, доктор медицинских наук, профессор, профессор кафедры профилактической медицины и охраны здоровья ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова» МЗ РФ, 191015, Санкт-Петербург, Российская Федерация. E-mail: yakubova-work@yandex.ru

Суворова Анна Васильевна, доктор медицинских наук, доцент, профессор кафедры профилактической медицины и охраны здоровья ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова» МЗ РФ, 191015, Санкт-Петербург, Российская Федерация. E-mail: suvorova-work@mail.ru

Хурцилава Отари Гивиевич, доктор медицинских наук, профессор, президент ФГБОУ ВО СЗГМУ им. И.И. Мечникова Минздрава России, профессор кафедры общественного здоровья, экономики и управления здравоохранением, 191015, Санкт-Петербург, Российская Федерация, E-mail: rektorat@szgmu.ru

INFORMATION ABOUT AUTHORS:

Artem D. Polyakov, postgraduate student of the Department of General and Military Hygiene of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov" of the Ministry of Health of the Russian Federation, researcher at the Federal State Unitary Enterprise "Scientific Research Institute of Hygiene, Occupational Pathology and Human Ecology" of the FMBA of Russia, 188663, Leningrad Region, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0001-8969-240X> E-mail: tema.poliackow2011@yandex.ru

Maria Yu. Kombarova, Candidate of Medical Sciences, Assistant of the Department of General and Military Hygiene of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov" of the Ministry of Health of the Russian Federation, Head of the Department of General Hygiene and Human Ecology of the Federal State Unitary Enterprise "Scientific Research Institute of Hygiene, Occupational Pathology and Human Ecology" of the FMBA of Russia, 188663, Leningrad region, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0003-0435-3228> E-mail: kombar_73@mail.ru

Andrey S. Radilov, Doctor of Medical Sciences, Professor, Acting Director of the Federal State Unitary Enterprise "Scientific Research Institute of Hygiene, Occupational Pathology and Human Ecology" of the FMBA of Russia, 188663, Leningrad region, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-6223-8589> E-mail: niigrech@rihophe.ru

Liliya A. Alikbaeva, Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the Department of General and Military Hygiene of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov" of the Ministry of Health of the Russian Federation, 191015, St. Petersburg, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-2266-5041> E-mail: alikkaeva@mail.ru

Irek Sh. Yakubova, Doctor of Medical Sciences, Professor, Professor of the Department of Preventive Medicine and Health Protection of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov" of the Ministry of Health of the Russian Federation, 191015, St. Petersburg, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0003-2437-1255> E-mail: yakubova-work@yandex.ru

Anna V. Suvorova, Doctor of Medical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Preventive Medicine and Health Protection of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov" of the Ministry of Health of the Russian Federation, 191015, St. Petersburg, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-0990-8299> E-mail: suvorova-work@mail.ru

Otari G. Khurtsilava, Doctor of Medical Sciences, Professor, President of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov" of the Ministry of Health of the Russian Federation; Professor of the Department of Public Health, Economics and Health Management, 191015, Saint Petersburg, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-7199-671X> E-mail: rektorat@szgmu.ru