

Научная статья

**ОЦЕНКА РИСКА ЗДОРОВЬЮ НАСЕЛЕНИЯ, ПРОЖИВАЮЩЕГО
НА ТЕРРИТОРИИ ВЛИЯНИЯ КОСМОДРОМА «ВОСТОЧНЫЙ»,
В УСЛОВИЯХ МНОГОФАКТОРНОЙ МНОГОСРЕДОВОЙ ЭКСПОЗИЦИИ
ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ****А.Д. Поляков^{1,2}, М.Ю. Комбарова^{1,2}, А.С. Радилов¹, Л.А. Аликбаева²,
И.Ш. Якубова², А.В. Суворова², О.Г. Хурцилава²**¹Научно-исследовательский институт гигиены, профпатологии и экологии человека, Российская Федерация, 188663, Ленинградская область, Всеволожский район, г.п. Кузьмоловский, ст. Капитолово, корп. 93²Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова, Российская Федерация, 191015, г. Санкт-Петербург, ул. Кирочная, 41

Ракетно-космическая деятельность является существенным источником опасного воздействия на окружающую среду, результаты которого могут проявляться на территории расположения космодрома, сопредельных с ним территориях, в районах падения отделяющихся частей ракеты-носителя. При этом отрасль обладает рядом специфических особенностей, формирующих риски для здоровья населения.

Выполнена оценка риска здоровью населения г. Циолковского при воздействии химических веществ, загрязняющих объекты окружающей среды, в соответствии с методическими подходами, представленными в действующем руководстве (Р 2.1.10.3968-23). В качестве исходных материалов использованы данные натурных наблюдений за объектами окружающей среды, выполненных в рамках социально-гигиенического мониторинга и в экспедиционных условиях, и данные проекта обоснования санитарно-защитной зоны площадок космодрома «Восточный».

Для расчета уровней экспозиции в условиях хронического воздействия химических веществ применяли средне-годовые концентрации и их верхние 95%-ные доверительные границы, установленные по среднесуточным концентрациям. Для оценки острых воздействий использовали 95%-ный перцентиль максимальных разовых концентраций.

Установлено, что ведущей средой в формировании неканцерогенного риска здоровью населения г. Циолковского является атмосферный воздух (88,99 %). Основной вклад в риск развития хронических неканцерогенных эффектов вносят взвешенные вещества (42,4 %).

В условиях комбинированного поступления веществ ингаляционным путем установленыстораживающие уровни хронического неканцерогенного риска развития нарушений работы органов дыхания (до 5,9 НИ) и системы крови (до 4,1 НИ). При этом основной вклад в формирование неканцерогенного риска вносят взвешенные вещества (до 42,4 %), свинец (до 25,9 %), азота оксид (до 20,2 %), азота диоксид и углерода оксид (по 23,1 %).

Ключевые слова: ракетно-космическая деятельность, космодром «Восточный», город Циолковский, ракетное топливо, оценка риска, факторы окружающей среды, химические загрязнители, нарушения здоровья, канцерогенный риск, неканцерогенный риск.

© Поляков А.Д., Комбарова М.Ю., Радилов А.С., Аликбаева Л.А., Якубова И.Ш., Суворова А.В., Хурцилава О.Г., 2024

Поляков Артем Дмитриевич – научный сотрудник; очный аспирант кафедры общей и военной гигиены (e-mail: tema.poliackow2011@yandex.ru; тел.: 8 (812) 303-50-00; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8969-240X>).**Комбарова Мария Юрьевна** – кандидат медицинских наук, заведующий отделом общей гигиены и экологии человека; доцент кафедры общей и военной гигиены (e-mail: kombar_73@mail.ru; тел.: 8 (812) 303-50-00; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0435-3228>).**Радилов Андрей Станиславович** – доктор медицинских наук, профессор, исполняющий обязанности директора (e-mail: niigpech@rihophe.ru; тел.: 8 (812) 303-50-00; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6223-8589>).**Аликбаева Лилия Абдулняимовна** – доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой общей и военной гигиены (e-mail: alikbaeva@mail.ru; тел.: 8 (812) 303-50-00; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2266-5041>).**Якубова Ирек Шавкатовна** – доктор медицинских наук, профессор кафедры профилактической медицины и охраны здоровья (e-mail: yakubova-work@yandex.ru; тел.: 8 (812) 543-17-47; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2437-1255>).**Суворова Анна Васильевна** – доктор медицинских наук, доцент, профессор кафедры профилактической медицины и охраны здоровья (e-mail: suvorova-work@mail.ru; тел.: 8 (812) 543-17-47; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0990-8299>).**Хурцилава Отари Гивиевич** – доктор медицинских наук, профессор, президент (e-mail: rektorat@szgmu.ru; тел.: 8 (812) 303-50-00; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7199-671X>).

Ракетно-космическая деятельность занимает важное место среди современных источников воздействия на окружающую среду. Данная область деятельности обладает рядом специфических особенностей, ее результаты могут проявляться как на территории расположения космодрома и сопредельных с ним территориях, так и в районах падения отделяющихся частей ракеты-носителя (далее – РН) [1, 2].

По показателю потенциального риска причинения вреда здоровью населения деятельность космодрома относится к категории чрезвычайно высокого риска¹. Технология запусков не исключает возможное загрязнение экосистем на всех стадиях подготовки, пуска и полета РН, в связи с чем источниками загрязнения могут быть ракетное топливо и продукты его сгорания и разложения, продукты реакции топлива с составляющими атмосферы, утечка топлива, а также аварии при транспортировке, заправке ракет и хранении токсичных веществ [3–6]. Однако наиболее опасными потенциальными источниками выбросов высокотоксичных химических веществ являются объекты наземной инфраструктуры космодрома², на которых проводятся работы по подготовке к пуску РН (стартовый и технический комплексы, хранилища высокотоксичных компонентов ракетного топлива, системы заправки и перекачки промстоков, станции нейтрализации паров и промстоков) [7, 8].

Техногенную нагрузку испытывают все объекты окружающей среды, находящиеся в зоне влияния космодрома. Попадая в них, ракетное топливо претерпевает ряд физико-химических превращений. Например, испаряется с поверхности пролива; сорбируется почвой, растениями, донными отложениями; растворяется в грунтовых и поверхностных водах, почвенной влаге и атмосферных осадках и т.д. [9–15].

Результаты сторонних наблюдений подтверждают значимость негативного влияния поллютантов результатов деятельности космодрома на состояние здоровья населения и условия проживания. Поражения человека агрессивными, высокотоксичными компонентами ракетного топлива возможны при нарушении технологического процесса, аварийных ситуациях на производстве, при обслуживании ракетной техники или контакте с разрушенными конструкциями ступеней РН в районах падения, а также при длительном контакте в производственных условиях даже в малых концентрациях изучаемых компонентов. Из

этого следует, что возможно возникновение как острых, так и хронических нарушений здоровья в результате действия химических компонентов ракетного топлива на человека [16–21].

Например, несимметричный диметилгидразин (НДМГ, гептил) и его производные по степени воздействия на живой организм являются чрезвычайно опасными компонентами ракетного топлива при поступлении через желудочно-кишечный тракт, органы дыхания, кожу и слизистые³. Обладают полиорганным действием: поражают сердечно-сосудистую и нервную системы, печень, системы дыхания, пищеварения, кроветворения, мочевыделения, нарушают обмен белков, липидов, углеводов, окислительно-восстановительные реакции, транспорт кислорода и свертывание крови. В эксперименте на животных доказаны отдаленные эффекты НДМГ: канцерогенный, мутагенный, тератогенный, эмбриотропный³ [16, 18, 20–22].

Для закрытых административно-территориальных образований, таких как «Циолковский», который включает в себя г. Циолковский и градообразующее предприятие – космодром «Восточный», являющийся источником химической и взрывопожарной опасности, по мере развития космодрома необходим регулярный анализ и оценка возможных последствий его техногенного влияния на здоровье населения и окружающую среду [23–25].

Одним из наиболее эффективных аналитических инструментов, позволяющих оценить безопасность человека, является методология оценки риска здоровью населения.

Цель исследования – проведение оценки риска здоровью населения г. Циолковского, проживающего в условиях многофакторной экспозиции химических веществ, содержащихся в атмосферном воздухе, питьевой воде и почве, и разработка гигиенических мероприятий по минимизации техногенного влияния космодрома на здоровье человека.

Материалы и методы. Исследование выполнено в рамках федеральной целевой программы «Развитие космодромов на период 2017–2025 годов в обеспечении космической деятельности Российской Федерации».

Объектом исследования являлся космодром «Восточный» как потенциальный источник неблагоприятного воздействия на окружающую среду и здоровье населения г. Циолковского.

Принимая во внимание невысокий уровень чувствительности применяемых аналитических ме-

¹ О федеральном государственном санитарно-эпидемиологическом контроле (надзоре): Постановление Правительства Российской Федерации от 30.06.2021 № 1100 [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/607148291> (дата обращения: 12.03.2024).

² Проект обоснования санитарно-защитной зоны площадок № 1, 2, 3 космодрома «Восточный»: проектная документация. – 2013. – Т. 1.

³ Справочник по токсикологии и гигиеническим нормативам (ПДК) потенциально опасных химических веществ / под ред. В.С. Кушневой, Р.Б. Горшковой. – М.: ИздАТ, 1999. – 272 с.

тодов по сравнению с референтными концентрациями при ингаляционном воздействии потенциально опасных веществ, по ряду поллютантов (НДМГ, керосин, диметиламин, этилбензол) при оценке экспозиции использовали комбинацию результатов мониторинга с данными, полученными с применением моделирования рассеивания выбросов.

Для расчета уровней экспозиции в условиях хронического воздействия химических веществ применяли среднегодовые концентрации и их верхние 95%-ные доверительные границы, установленные по среднесуточным концентрациям за исследуемый период. Для оценки острых воздействий использовали 95-ый перцентиль максимальных разовых концентраций.

Результаты лабораторных исследований объектов окружающей среды (атмосферного воздуха, питьевой воды, почвы) получены в рамках ведения социально-гигиенического мониторинга, реализации расширенной программы мониторинга при осуществлении пусков РН, выполненные на базе ФГБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии № 51» ФМБА России и ФГУП «Научно-исследовательский институт гигиены, профпатологии и экологии человека» ФМБА России за период 2017–2023 гг., а также собственных натуральных инструментальных исследований, проведенных в экспедиционных условиях.

Всего в период 2017–2023 гг. контролировали содержание от 22 до 27 загрязняющих веществ, поступающих в составе суммарных выбросов в атмосферу; от 39 до 42 показателей в питьевой воде, в том числе органолептические, микробиологические и паразитологические. Оценка загрязнения почвы селитебной территории г. Циолковского выполнена по содержанию 19 химических веществ. Образцы исследовались на наличие специфических веществ – НДМГ и продуктов его деструкции – нитрозодиметиламина (НДМА), диметиламина (ДМА), тетраметилтетразена (ТМТ), формальдегида, – и на содержание химических веществ общетоксического действия – диоксидов серы и азота, оксидов азота и углерода, сероводорода, фенола, взвешенных веществ. Проводился количественный анализ содержания свинца, ртути, никеля, кадмия, кобальта, цинка, меди, хрома, также определяли концентрацию бенз(а)пирена, мышьяка, нефтепродуктов и пр.

Химическое вещество исключалось из перечня, если его концентрации ниже порога определения были установлены более чем в 95 % отобранных проб.

Для моделирования рассеивания в атмосферном воздухе загрязняющих веществ, выбрасываемых стационарными источниками космодрома, и расчетов среднегодовых концентраций использовалась Унифицированная программа расчета загрязнения атмосферы (УПРЗА) «Эколог», версия 4,6, программный модуль «Средние». Метеорологические характеристики территории были получены по специальному запросу от Федерального государственного бюджетного учреждения «Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова» (ФГБУ «ГГО») в виде метеофайла. Расчеты рассеивания выполнены для НДМГ, керосина, диметиламина, этилбензола.

Характеристика основных техногенных источников загрязнения химическими веществами объектов окружающей среды на территории размещения космодрома «Восточный» изучена по данным проекта обоснования санитарно-защитной зоны для стартового, технического комплексов и комплекса по производству и хранению компонентов ракетного топлива.

Для расчетов и оценки уровней риска для здоровья населения применяли методологию, представленную в «Руководстве по оценке риска здоровью населения при воздействии химических веществ, загрязняющих среду обитания» (Р 2.1.10.3968-23)⁴, путем последовательной реализации всех этапов. Расчет рисков проводили отдельно для канцерогенных и неканцерогенных эффектов с описанием приоритетных сред воздействия и путей поступления химических поллютантов в организм человека.

При выборе химических веществ, содержащихся в атмосферном воздухе, питьевой воде и почве и приоритетных для последующей оценки риска здоровью населения, анализировались их параметры токсичности и опасности, включая значения референтных уровней и соответствующие им критические органы и системы, а также факторы канцерогенного потенциала.

В процедуру оценки риска включали химические вещества, соответствующие следующим критериям: принадлежность вещества к перечням приоритетных и особо опасных химических веществ⁵; значимый вклад веществ (не менее 95 %) в величину индекса сравнительной неканцерогенной опасности и в уровень валового выброса; величина коэффициента опасности (HQ) не менее 0,1, наличие канцерогенного действия вещества.

Ввиду опасности канцерогенного действия в оценку риска включены все вещества, обладающие канцерогенными свойствами в соответствии с дан-

⁴ Р 2.1.10.3968-23. Руководство по оценке риска здоровью населения при воздействии химических веществ, загрязняющих среду обитания / утв. Федеральной службой по надзору в сфере здравоохранения от 5 сентября 2023 г. [Электронный ресурс] // ГАРАНТ: информационно-правовое обеспечение. – URL: <https://base.garant.ru/408644981/> (дата обращения: 15.01.2024).

⁵ О списке приоритетных веществ, содержащихся в окружающей среде, и их влияние на здоровье населения: информационное письмо Департамента Госсанэпиднадзора Минздрава РФ от 7 августа 1997 года № 11/109-111 [Электронный ресурс] // ГАРАНТ: информационно-правовое обеспечение. – URL: <https://base.garant.ru/4177814/> (дата обращения: 30.11.2023).

ными МАИР и U.S. EPA в соответствии с Р 2.1.10.3968-23, для которых установлены факторы канцерогенного потенциала.

На этапе оценки экспозиции рассчитаны дозовые нагрузки, с которыми сталкивается население г. Циолковского, при поступлении химического вещества в организм разными путями (ингаляционным, пероральным, накожным) в результате контакта с атмосферным воздухом, питьевой водой и почвой. При оценке маршрутов воздействия загрязняющих веществ с питьевой водой и почвой определить точные источники возможного загрязнения невозможно. В связи с этим анализ присущих им маршрутов воздействия был неполным. Окончательный сценарий экспозиции изучаемых химических факторов представлен в табл. 1.

Таблица 1

Сценарий воздействия химических факторов, содержащихся в исследуемых объектах окружающей среды

Объект окружающей среды	Путь поступления		
	ингаляционный	пероральный	накожный
Атмосферный воздух	+	-	-
Питьевая вода	-	+	+
Почва	-	+	+

Экспозиция в процессе трудовой деятельности в данном исследовании не учитывалась.

Расчет поступления химических веществ с питьевой водой и почвой проводился на основе анализа имеющихся данных мониторинга.

Для оценки риска неканцерогенных эффектов рассчитывались коэффициенты (*HQ*) и индексы (*HI*) опасности, в том числе суммарный (*THI*) при много-средовом и многофакторном поступлении. Расчет индивидуального канцерогенного риска (*CR*) выполнен с использованием данных о величине экспозиции и значениях фактора канцерогенного потенциала для исследуемого пути поступления при многофакторной и многосредовой экспозиции (*TCR*) в соответствии с расчетными формулами прил. 14 Р 2.1.10.3968-23.

Критерии приемлемости и градации канцерогенного и неканцерогенного риска принимали в соответствии с положениями Р 2.1.10.3968-23. Граница допустимости (приемлемости) канцерогенного риска находится в диапазоне от $1,0 \cdot 10^{-6}$ до $1,0 \cdot 10^{-4}$, для неканцерогенного риска величина коэффициента опасности не должна превышать 1,0, индекса опасности – не более 3,0.

Результаты и их обсуждение. На этапе идентификации опасности в результате ранжирования аэрогенных примесей определены 12 приоритетных веществ, из которых потенциальной способностью оказывать хроническое неканцерогенное действие на население обладают все исследуемые вещества; ост-

рое неканцерогенное действие – шесть химических веществ (азот диоксид, бензол, диоксид серы, углерода оксид, формальдегид, фенол), канцерогенное действие – семь веществ (НДМГ, бенз(а)пирен, формальдегид, бензол, этилбензол, сажа (углерод), свинец).

Комбинированное поступление анализируемых веществ при хронической ингаляционной экспозиции может обуславливать развитие нарушений здоровья со стороны органов дыхания (азота диоксид, азота оксид, формальдегид, сажа, серы диоксид, взвешенные вещества), системы крови (бензол, азота диоксид, азота оксид, углерода оксид, свинец), процессов развития (бенз(а)пирен, этилбензол, углерода оксид, свинец), центральной нервной системы (углерода оксид, свинец), сердечно-сосудистой системы (углерода оксид, фенол), печени (НДМГ, фенол), почек (свинец, фенол).

При острой ингаляционной экспозиции возможно формирование неканцерогенных нарушений со стороны органов дыхания (азота диоксид, серы диоксид, фенол) и органов зрения (формальдегид, фенол).

В питьевой воде централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения выделены 13 приоритетных для исследования химических веществ, из которых 12 способны оказывать неблагоприятное действие на центральную нервную систему (марганец, мышьяк, ртуть), процессы развития (мышьяк, ртуть, бор), систему крови (нитраты, нитриты, цинк), почки (молибден, кадмий, ртуть), желудочно-кишечный тракт (медь, фториды, железо). Кадмий, мышьяк, свинец по данным МАИР и U.S. EPA могут оказывать канцерогенное действие при пероральном поступлении с питьевой водой.

В почве определены 10 приоритетных химических примесей, из которых четыре обладают канцерогенными свойствами (НДМГ, мышьяк, кадмий, свинец) и восемь при комбинированном поступлении могут обуславливать развитие нарушений здоровья со стороны центральной нервной системы (марганец, мышьяк, ртуть), процессов развития (мышьяк, ртуть), системы крови (цинк, нитраты), почек (кадмий, ртуть), желудочно-кишечного тракта (формальдегид, медь).

По результатам проведения оценки канцерогенного риска здоровью установлено, что факторами, определяющими наибольший вклад в показатель суммарного индивидуального канцерогенного риска здоровью, является мышьяк (при поступлении с питьевой водой для детского и взрослого населения – 97,92 %, с почвой – 25,44 и 20,5 % соответственно), формальдегид (из атмосферного воздуха – 80,85 % для детского населения и 80,88 % для взрослого) и НДМГ (из почвы – 65,29 % для детей и 65,58 % для взрослых) (табл. 2).

Основной вклад в величину индивидуального суммарного канцерогенного риска для исследуемых путей поступления химических веществ для взрослого населения оказывает питьевая вода – 58,94 %, для детского – питьевая вода и атмосферный воздух – 36,09 и 35,44 % соответственно (табл. 3).

Таблица 2

Суммарный индивидуальный канцерогенный риск здоровью при многомаршрутной, многосредовой экспозиции химических веществ

Химическое вещество	Атмосферный воздух		Питьевая вода		Почва	
	CR	Вклад, %	CR	Вклад, %	CR	Вклад, %
<i>Взрослое население</i>						
Бенз(а)пирен	6,6E-10	0,01	–	–	–	–
НДМГ	6,4E-08	0,67	–	–	2,6E-06	65,58
Бензол	1,5E-06	15,76	–	–	–	–
Сажа	4,5E-09	0,05	–	–	–	–
Формальдегид	7,7E-06	80,88	–	–	–	–
Этилбензол	8,7E-10	0,01	–	–	–	–
Свинец	2,5E-07	2,63	1,1E-08	0,05	8,4E-09	0,21
Кадмий	–	–	3,9E-07	2,02	3,5E-07	8,71
Мышьяк	–	–	1,9E-05	97,92	1,0E-06	25,50
Суммарный индивидуальный канцерогенный риск здоровью (ΣCR)	9,5E-06	100	1,9E-05	100	4,0E-06	100
<i>Детское население</i>						
Бенз(а)пирен	6,2E-10	0,01	–	–	–	–
НДМГ	6,0E-08	0,67	–	–	4,7E-06	65,29
Бензол	1,4E-06	15,72	–	–	–	–
Сажа	4,2E-09	0,05	–	–	–	–
Формальдегид	7,2E-06	80,85	–	–	–	–
Этилбензол	8,1E-10	0,01	–	–	–	–
Свинец	2,4E-07	2,69	5,0E-09	0,05	1,5E-08	0,21
Кадмий	–	–	1,8E-07	2,02	6,5E-07	9,06
Мышьяк	–	–	8,9E-06	97,92	1,8E-06	25,44
Суммарный индивидуальный канцерогенный риск здоровью (ΣCR)	8,9E-06	100	9,1E-06	100	7,2E-05	100

Таблица 3

Индивидуальный канцерогенный риск и долевые вклады объектов окружающей среды в величину суммарного индивидуального канцерогенного риска при многомаршрутной, многосредовой экспозиции химических веществ

Путь поступления	Атмосферный воздух	Питьевая вода	Почва	Суммарный индивидуальный канцерогенный риск для исследуемого пути поступления	Вклад, %
<i>Взрослое население</i>					
Ингаляционный	9,5E-06	–	–	9,5E-06	28,61
Пероральный	–	1,9E-05	3,6E-07	2,0E-05	60,24
Накожный	–	1,0E-07	3,6E-06	3,7E-06	11,14
Суммарный уровень индивидуального канцерогенного риска (ΣCR)	9,5E-06	2,0E-05	4,0E-06	3,3E-05	100
Долевой вклад объектов окружающей среды в величину суммарного индивидуального канцерогенного риска для исследуемого пути поступления, %	28,92	58,94	12,14	100	–
<i>Детское население</i>					
Ингаляционный	8,9E-06	–	–	8,9E-06	35,46
Пероральный	–	9,0E-06	3,6E-07	9,4E-06	37,45
Накожный	–	5,9E-08	6,8E-06	6,8E-06	27,09
Суммарный уровень индивидуального канцерогенного риска (ΣCR)	8,9E-06	9,1E-06	7,2E-06	2,5E-05	100
Долевой вклад объектов окружающей среды в величину суммарного индивидуального канцерогенного риска для исследуемого пути поступления, %	35,44	36,09	28,47	100	–

Таблица 4

Уровни неканцерогенного риска (индексы опасности) по критическим органам / системам и по объектам среды обитания в условиях многофакторного многосредового воздействия

Критический орган / система	Атмосферный воздух		Питьевая вода		Почва		Суммарный индекс опасности (ΣHI)	
	взрослые	дети	взрослые	дети	взрослые	дети	взрослые	дети
Органы дыхания	1,50	5,90	–	–	–	–	1,50	5,90
Сердечно-сосудистая система	0,40	1,76	–	–	–	–	0,40	1,76
Центральная нервная система	0,40	1,70	0,19	0,44	0,0007	0,004	0,59	2,14
Система крови	0,86	3,47	0,25	0,58	0,00001	0,0001	1,11	4,05
Процессы развития	0,40	1,70	0,19	0,45	0,0006	0,003	0,59	2,15
Печень	0,20	0,96	–	–	–	–	0,20	0,96
Почки	0,40	1,86	0,09	0,21	0,002	0,001	0,49	2,07
Желудочно-кишечный тракт	–	–	0,07	0,16	0,00001	0,0001	0,07	0,16

Таблица 5

Вклады объектов окружающей среды в величину суммарного индекса опасности в условиях многофакторного многосредового воздействия

Критический орган / система	Вклад, %		
	атмосферный воздух	питьевая вода	почва
Органы дыхания	100,0	–	–
Сердечно-сосудистая система	100,0	–	–
Центральная нервная система	76,7	23,1	0,2
Система крови	83,8	16,2	менее 0,01
Процессы развития	76,3	23,6	0,1
Печень	100,0	–	–
Почки	88,2	11,8	менее 0,01
Желудочно-кишечный тракт	–	100,0	менее 0,01
Долевой вклад объектов окружающей среды в величину суммарного индекса опасности	88,99	10,93	0,08

Однако, несмотря на это, показатели суммарного индивидуального канцерогенного риска для населения, проживающего на территории г. Циолковского, при многосредовом многофакторном поступлении исследуемых веществ-канцерогенов являются допустимыми (приемлемыми) и составили для детского населения $2,5 \cdot 10^{-5}$, для взрослого – $3,3 \cdot 10^{-5}$.

Результаты расчетов острого неканцерогенного риска не выявили превышений допустимых значений коэффициентов и индексов опасности развития неканцерогенных эффектов. Уровни развития острого неканцерогенного риска нарушений работы со стороны органов дыхания составили до 0,26 *HIac* для взрослого и до 1,19 *HIac* для детского населения; со стороны органов зрения – до 0,27 и 1,22 *HIac* соответственно.

В результате расчетов установленстораживающий уровень неканцерогенного риска здоровью детского населения в условиях хронического ингаляционного воздействия взвешенных веществ (до 2,5 *HQch*).

В условиях комбинированного поступления веществ ингаляционным путем установленыстораживающие уровни хронического неканцерогенного риска (от 3,5 до 5,9 *HI*) развития заболеваний со стороны органов дыхания (до 5,9 *HI*) и системы крови (до 4,1 *HI*). Основной вклад в формирование

неканцерогенного риска со стороны органов дыхания вносят взвешенные вещества (до 42,4 %), со стороны нарушений системы крови – свинец (до 25,9 %), азота диоксид и углерода оксид (по 23,1 %), азота оксид (до 20,2 %) (табл. 4).

Превалирующий вклад в формирование неканцерогенных нарушений со стороны здоровья в условиях хронической экспозиции вносит атмосферный воздух – 88,99 % (табл. 5).

Выводы. Оценка многосредового риска показала, что ведущей средой в формировании неканцерогенного риска здоровью населения г. Циолковского является атмосферный воздух (88,99 %). Основной вклад в риск развития хронических неканцерогенных эффектов вносят взвешенные вещества (42,4 %), содержание в атмосферном воздухе которых формирует неприемлемый уровень риска здоровью – 2,5 *HQch*.

В условиях комбинированного поступления веществ ингаляционным путем установленыстораживающие уровни неприемлемого хронического неканцерогенного риска развития нарушений работы органов дыхания (до 5,9 *HI*) и системы крови (до 4,1 *HI*). При этом основной вклад в формирование неканцерогенного риска вносят взвешенные вещества (до 42,4 %), свинец (до 25,9 %), азота оксид (до 20,2 %), азота диоксид и углерода оксид (по 23,1 %).

Установленные уровни риска неприемлемы для населения в целом и требуют разработки и проведения плановых оздоровительных мероприятий.

Полученные результаты свидетельствуют о необходимости управленческих решений с целью создания безопасной комфортной среды проживания и хозяйственной деятельности на территории г. Циолковского.

В связи с завершением строительства и введением в эксплуатацию нового стартового комплекса РН «Ангара» на космодроме «Восточный» значительно повысится интенсивность производственной деятельности. Внедрение новых технологий и образцов ракетно-космической техники обуславливает необходимость мониторинга уровней воздействия вредных химических факторов. В первую очередь, важен контроль за содержанием ракетного топлива, динамикой и характером его накопления в объектах окружающей среды в процессе деятельности космодрома для гигиенической оценки по-

следствий ракетно-космической деятельности для здоровья населения и среды его обитания.

С целью минимизации риска здоровью населения г. Циолковского необходимо:

- определить приоритеты природоохранной политики космодрома «Восточный»;
- оптимизировать программы мониторинга качества среды обитания с учетом приоритетных источников загрязнения окружающей среды и химических веществ, вносящих наибольший вклад в риск развития неблагоприятных эффектов;
- использовать информационно-аналитические возможности системы социально-гигиенического мониторинга для адресного управления риском здоровьем населения.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1. Ладыгина Л.Ф., Галуцкая Т.В., Рагозина М.А. Экологические проблемы космической деятельности: воздействие ракетно-космической техники на окружающую природную среду // Решетневские чтения. – 2013. – Т. 2. – С. 355–356.
2. Баранов М.Е., Дубинин П.А. Социально-экологические последствия ракетно-космической деятельности // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. – 2018. – № 2. – С. 470–472.
3. Кондратьев А.Д., Королева Т.В. Жидкие ракетные топлива: контроль и оценка экологической опасности // Экология и промышленность России. – 2017. – Т. 21, № 2. – С. 45–51. DOI: 10.18412/1816-0395-2017-2-45-51
4. Техногенная трансформация наземных экосистем при эксплуатации ракетно-космической техники / Т.В. Королева, П.П. Кречетов, А.В. Шарапова, А.Д. Кондратьев // Экология и промышленность России. – 2017. – Т. 21. № 8. – С. 26–32. DOI: 10.18412/1816-0395-2017-8-26-32
5. Пьянков Е.А., Шевкунова О.И., Уфимцева Л.В. Загрязнение окружающей среды компонентами ракетного топлива разгонного блока «Фрегат» при возникновении аварийной ситуации на этапе подготовки и запуска с космодрома «Восточный» // Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке. – 2014. – Т. 1. – С. 244–249.
6. Научно-методическое обеспечение эколого-гигиенической безопасности территорий размещения шахтных пусковых установок после вывода их из эксплуатации и рекультивации земель / О.Н. Семенова, Н.Ф. Воронин, С.Е. Иванов, С.В. Чистяков // Медицина экстремальных ситуаций. – 2020. – Т. 22, № 2. – С. 186–192.
7. Организационные, токсикологические и санитарно-гигиенические аспекты химической безопасности территорий в зоне возможного влияния промышленных предприятий / О.Н. Семенова, А.В. Алехнович, А.А. Круглов, С.П. Чушняков, А.С. Ливанов // Здоровье населения и среда обитания – ЗНиСО. – 2015. – № 11 (272). – С. 27–30.
8. Содержание тяжелых металлов и мышьяка в почве селитебной зоны ЗАТО Циолковский на начальном этапе эксплуатации космодрома «Восточный» / О.Н. Семенова, С.Е. Иванов, О.Б. Шашкова, О.М. Худякова, С.В. Смирнова // Медицина экстремальных ситуаций. – 2020. – Т. 22, № 1. – С. 75–83.
9. Результаты мониторинга вредных химических факторов окружающей среды в районе расположения космодрома «Восточный» на начальном этапе его эксплуатации / О.Н. Семенова, С.Е. Иванов, С.В. Чистяков, Т.В. Рябова // Амурский медицинский журнал. – 2018. – № 3 (23). – С. 14–19. DOI: 10.22448/AMJ.2018.3.14-19
10. Экологическое сопровождение на территории Республики Алтай пусков ракет-носителей «Протон» с космодрома Байконур / А.Н. Зяблицкая, Л.В. Щучинов, В.Б. Алексеев, Т.В. Нурисламова // Анализ риска здоровью – 2020 совместно с международной встречей по окружающей среде и здоровью RISE-2020 и круглым столом по безопасности питания: материалы X Всероссийской научно-практической конференции с международным участием: в 2 т. / под ред. проф. А.Ю. Поповой, акад. РАН Н.В. Зайцевой. – Пермь: Пермский национальный исследовательский политехнический университет. – 2020. – Т. 1. – С. 243–249.
11. Особенности мониторинга влияния ракетно-космической деятельности на здоровье населения и окружающую среду Республики Алтай / Л.В. Щучинов, А.Н. Зяблицкая, В.Б. Алексеев, Т.В. Нурисламова // Актуальные вопросы анализа риска при обеспечении санитарно-эпидемиологического благополучия населения и защиты прав потребителей: материалы VIII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием / под ред. проф. А.Ю. Поповой, акад. РАН Н.В. Зайцевой. – Пермь, 2018. – С. 257–261.
12. Поляков А.Д., Комбарова М.Ю. Обеспечение безопасности окружающей среды как комплексная гигиеническая проблема при эксплуатации ракетно-космической техники // Развивая вековые традиции, обеспечивая "санитарный щит" страны: материалы XIII Всероссийского съезда гигиенистов, токсикологов и санитарных врачей с международ-

ным участием, посвященного 100-летию основания Государственной санитарно-эпидемиологической службы России / под ред. д.м.н., проф. А.Ю. Поповой, д.м.н., проф. С.В. Кузьмина. – Мытищи: ФБУН «Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора, 2022. – Т. 2. – С. 168–172.

13. Экологическое состояние водотоков позиционного района космодрома «Восточный» / А.В. Пузанов, В.В. Кириллов, Д.М. Безматерных, И.А. Алексеев, О.Н. Вдовина, Н.И. Ермолаева, Е.Ю. Зарубина, Г.В. Винокурова [и др.] // География и природные ресурсы. – 2017. – № 2. – С. 66–72. DOI: 10.21782/GIPR0206-1619-2017-2(66-72)

14. Королева Т.В., Шарапова А.В., Кречетов П.П. Химический состав снега на территориях, подверженных воздействию ракетно-космической деятельности (Республика Алтай) // Гигиена и санитария. – 2017. – Т. 96, № 5. – С. 432–437. DOI: 10.1882/0016-9900-2017-96-5-432-437

15. Ландшафты территории космодрома «Восточный» и их антропогенная трансформация / А.В. Пузанов, В.В. Самброс, И.А. Алексеев, Д.М. Безматерных. – Барнаул: ООО «Пять плюс», 2018. – 227 с.

16. Экспериментальные исследования влияния низких концентраций гептила и продуктов его гидролиза на воду и биологические объекты / Л.С. Ягужинский, И.В. Манухов, Э.Р. Вагапова, А.Г. Кассених, М.Н. Коноплева, Г.Б. Завильгельский, В.Ю. Котова, В.И. Брусков [и др.]; под ред. д.х.н., проф. Л.С. Ягужинского. – М.: Междисциплинарный центр фундаментальных исследований МФТИ, 2015. – 230 с.

17. Шпигун О.А., Кондратьев А.Д. Особенности оценки воздействия низких концентраций гептила на объекты окружающей среды при эксплуатации ракетной техники // Экологический вестник научных центров Черноморского экономического сотрудничества. – 2004. – № 4. – С. 59–63.

18. Динамика распространенности болезней системы кровообращения среди населения Алтайского края, проживающего в зоне влияния ракетно-космической деятельности / И.Б. Колядо, С.В. Плугин, С.И. Трибунский, А.А. Карпенко // Медицина труда и промышленная экология. – 2019. – № 6. – С. 353–358. DOI: 10.31089/1026-9428-2019-59-6-353-358

19. Реальные и мнимые последствия ракетно-космической деятельности для здоровья населения / Н.А. Мешков, Е.А. Вальцева, Е.Н. Харламова, А.З. Куликова // Гигиена и санитария. – 2015. – Т. 94, № 7. – С. 117–122.

20. Колядо И.Б., Плугин С.В., Шойхет Я.Н. Сравнительное динамическое исследование показателей здоровья населения Алтайского края, проживающего вблизи районов падения отделяющихся частей ракет-носителей // Бюллетень науки и практики. – 2016. – № 6. – С. 115–125.

21. Скребцова Н.В., Совершаева С.Л., Павлова Е.А. Характеристика и анализ динамики смертности населения, проживающего вблизи районов падения отделяющихся частей ракет-носителей // Здоровье населения и среда обитания – ЗНиСО. – 2005. – № 5 (146). – С. 30–32.

22. Сидоров П.И., Скребцова Н.В., Совершаева С.Л. Медико-экологические аспекты здоровья населения на территориях ракетно-космической деятельности // Гигиена и санитария. – 2006. – № 3. – С. 11–15.

23. Содержание тяжелых металлов в почвах и грунтах природно-антропогенных комплексов позиционного района космодрома «Восточный» / И.А. Алексеев, А.В. Алехнович, Т.А. Мередилина, Л.П. Карацуба, Е.А. Щипцова, А.А. Круглов // Медицина экстремальных ситуаций. – 2016. – № 3 (57). – С. 70–76.

24. Поляков А.Д., Комбарова М.Ю., Сальников А.А. Гигиенические аспекты водопользования населения территории в зоне влияния космодрома «Восточный» // Санитарный врач. – 2023. – № 1. – С. 26–35. DOI: 10.33920/med-08-2301-03

25. 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. – СПб.: СЗГМУ им. И.И. Мечникова, 2020. – Ч. 1. – С. 209–212.

Оценка риска здоровью населения, проживающего на территории влияния космодрома «Восточный», в условиях многофакторной многосредовой экспозиции химических веществ / А.Д. Поляков, М.Ю. Комбарова, А.С. Радилов, Л.А. Аликбаева, И.Ш. Якубова, А.В. Суворова, О.Г. Хурцилава // Анализ риска здоровью. – 2024. – № 2. – С. 63–73. DOI: 10.21668/health.risk/2024.2.06



Research article

ASSESSMENT OF THE HEALTH RISK FOR PEOPLE RESIDING ON THE TERRITORY INFLUENCED BY THE VOSTOCHNY COSMODROME UNDER MULTI-FACTOR AND MULTI-ENVIRONMENT EXPOSURE TO CHEMICALS

A.D. Polyakov^{1,2}, M.Yu. Kombarova^{1,2}, A.S. Radilov¹, L.A. Alikbaeva², I.S. Iakubova², A.V. Suvorova², O.G. Khurtsilava²

¹Scientific Research Institute of Hygiene, Occupational Pathology and Human Ecology, Kapitолоvo Art., bldg 93, Kuzmolovsky Settl., Vsevolozhsky District, Leningrad Region, 188663, Russian Federation

²North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov, 41 Kirochnaya St., Saint Petersburg, 191015, Russian Federation

Rocket and space activities occupy an important place among modern sources of impact on the environment. Its results can manifest themselves in an area where a cosmodrome is located, adjacent territories, in areas where separated parts of a launch vehicle fall. This impact has certain specific features that create population health risks.

Health risks for population of Tsiolkovsky settlement were assessed upon exposure to chemicals that pollute the environment in accordance with the methodical approaches stipulated in the valid Guide (R 2.1.10.3968-23). Initial data were represented by results of environmental surveillance accomplished within social-hygienic monitoring and in field conditions as well as by data collected for a project aimed at substantiating a sanitary protection zone for the Vostochny Cosmodrome launch sites.

Average annual concentrations and their 95 % confidence intervals, which were established based on average daily concentrations, were used to calculate chronic chemical exposures. The 95 % percentile of maximum single concentrations was employed to calculate acute exposures.

Ambient air was established to make the greatest contribution (88.99 %) into non-carcinogenic health risks for people residing in Tsiolkovsky settlement. Particulate matter made the greatest contribution (42.4 %) to the risk of chronic non-carcinogenic effects.

Alerting chronic non-carcinogenic risks of respiratory diseases (up to 5.9 HI) and the blood system (up to 4.1 HI) were established under combined inhalation chemical exposures. Major contributions to non-carcinogenic risks are made by particulate matter (up to 42.4 %), lead (up to 25.9 %), nitrogen oxide (up to 20.2 %), nitrogen dioxide and carbon oxide (23.1 % each).

Keywords: *rocket and space activities, Vostochny cosmodrome, Tsiolkovsky settlement, rocket fuel, risk assessment, environmental factors, chemical pollutants, health problems, carcinogenic and non-carcinogenic risk.*

© Polyakov A.D., Kombarova M.Yu., Radilov A.S., Alikbaeva L.A., Iakubova I.S., Suvorova A.V., Khurtsilava O.G., 2024

Artem D. Polyakov – Researcher; post-graduate student of Common and Military Hygiene Department (e-mail: tema.poliackow2011@yandex.ru; tel.: +7 (812) 303-50-00; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8969-240X>).

Maria Yu. Kombarova – Candidate of Medical Sciences, Head of Common Hygiene and Human Ecology Department; Associate Professor of Common and Military Hygiene Department (e-mail: kombar_73@mail.ru; tel.: +7 (812) 303-50-00; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0435-3228>).

Andrei S. Radilov – Doctor of Medical Sciences, Professor, acting as a director (e-mail: niigpech@rihophe.ru; tel.: +7 (812) 303-50-00; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6223-8589>).

Liliya A. Alikbayeva – Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of Common and Military Hygiene Department (e-mail: alikbaeva@mail.ru; tel.: +7 (812) 303-50-00; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2266-5041>).

Irek S. Iakubova – Doctor of Medical Sciences, Professor at the Department of Preventive Medicine and Health Protection (e-mail: yakubova-work@yandex.ru; tel.: +7 (812) 543-17-47; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2437-1255>).

Anna V. Suvorova – Doctor of Medical Sciences, Associate Professor, Professor at the Department of Preventive Medicine and Health Protection (e-mail: suvorova-work@mail.ru; tel.: +7 (812) 543-17-47; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0990-8299>).

Otari G. Khurtsilava – Doctor of Medical Sciences, Professor, president (e-mail: rektorat@szgmu.ru; tel.: +7 (812) 303-50-00; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7199-671X>).

References

1. Ladygina L.F., Galutskaya T.V., Ragozina M.A. Environmental problems of space exploration: impact of the missile and space equipment on surrounding environment. *Reshetnevskie chteniya*, 2013, vol. 2, pp. 355–356 (in Russian).
2. Baranov M.E., Dubynin P.A. The socio-ecological consequences of space-rocket activity. *Aktual'nye problemy aviat-sii i kosmonavтики*, 2018, no. 2, pp. 470–472 (in Russian).
3. Kondratyev A., Koroleva T. Liquid Propellants: Monitoring and Evaluation of Environmental Hazards. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*, 2017, vol. 21, no. 2, pp. 45–51. DOI: 10.18412/1816-0395-2017-2-45-51 (in Russian).
4. Koroleva T., Krechetov P., Sharapova A., Kondratyev A. Technogenic Transformation of Terrestrial Ecosystems in the Operation of Rocket and Space Technology. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*, 2017, vol. 21, no. 8, pp. 26–32. DOI: 10.18412/1816-0395-2017-8-26-32 (in Russian).
5. Piankov E.A., Shevkunova O.I., Ufimtseva L.V. Environmental pollution by the components of propellant of "Fregat" booster block in case of emergency during the preparation phase and launch from the Vostochny cosmodrome. *Nauchno-tehnicheskoe i ekonomicheskoe sotrudnichestvo stran ATR v XXI veke*, 2014, vol. 1, pp. 244–249 (in Russian).
6. Semenova O.N., Voronin N.F., Ivanov S.E., Chistyakov S.V. Scientific and methodical support of environmental and health physics safety of the sites of in-silo launchers after their decommissioning and remediation of lands. *Meditsina ekstremal'nykh situatsii*, 2020, vol. 22, no. 2, pp. 186–192 (in Russian).
7. Semyonova O.N., Alekhovich A.V., Kruglov A.A., Chushnyakov S.P., Livanov A.S. Organizational, toxicological and sanitary-hygienic aspects of chemical security of the territories in the zone of possible influence of the industrial enterprise. *ZNiSO*, 2015, no. 11 (272), pp. 27–30 (in Russian).
8. Semenova O.N., Ivanov S.E., Shashkova O.B., Khudyakova O.M., Smirnova S.V. The contents of heavy metals in the soil of the residential area of the CTF Tsiolkovsky at the initial stage of operation of the Vostochny cosmodrome. *Meditsina ekstremal'nykh situatsii*, 2020, vol. 22, no. 1, pp. 75–83 (in Russian).
9. Semenova O.N., Ivanov S.E., Chistyakov S.V., Ryabova T.V. Monitoring results of hazardous chemical factors of the environment around the "Vostochny" cosmodrome at the initial stage of its operation. *Amurskii meditsinskii zhurnal*, 2018, no. 3 (23), pp. 14–19. DOI: 10.22448/AMJ.2018.3.14-19 (in Russian).
10. Zyablitskaya A.N., Shchuchinov L.V., Alekseev V.B., Nurislamova T.V. Ekologicheskoe soprovozhdenie na territorii Respubliki Altai puskov raket-nositelei «Proton» s kosmodroma Baikonur [Environmental support in the Altai Republic of launches of the Proton launch vehicle from the Baikonur cosmodrome]. *Analiz riska zdorov'yu – 2020 sovместno s mezhdunarodnoi vstrechei po okruzhayushchei srede i zdorov'yu RISE-2020 i kruglym stolom po bezopasnosti pitaniya: materialy X Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem*: in 2 volumes. In: A.Yu. Popova, N.V. Zaitseva eds. Perm, Perm National Research Polytechnic University Publ., 2020, vol. 1, pp. 243–249 (in Russian).
11. Shchuchinov L.V., Zyablitskaya A.N., Alekseev V.B., Nurislamova T.V. Osobennosti monitoringa vliyaniya raketno-kosmicheskoi deyatel'nosti na zdorov'e naseleniya i okruzhayushchuyu sredu Respubliki Altai [Features of monitoring the impact of rocket and space activities on the population health and the environment of the Altai Republic]. *Aktual'nye voprosy analiza riska pri obespechenii sanitarno-epidemiologicheskogo blagopoluchiya naseleniya i zashchity prav potrebitel'ei: materialy VIII Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem*. In: A.Yu. Popova, N.V. Zaitseva eds. Perm, 2018, pp. 257–261 (in Russian).
12. Polyakov A.D., Kombarova M.Yu. Obespechenie bezopasnosti okruzhayushchei sredy kak kompleksnaya gigenicheskaya problema pri ekspluatatsii raketno-kosmicheskoi tekhniki [Ensuring environmental safety as a complex hygienic problem of rocket and space technology]. *Razvivaya vekovye traditsii, obespechivaya "sanitarnyi shchit" strany: materialy XIII Vserossiiskogo s"ezda gigenistov, toksikologov i sanitarnykh vrachei s mezhdunarodnym uchastiem, posvyashchennogo 100-letiyu osnovaniya Gosudarstvennoi sanitarno-epidemiologicheskoi sluzhby Rossii*. In: A.Yu. Popova, S.V. Kuzmin eds. Mytishchi, Federal Scientific Center for Hygiene named after. F.F. Erisman Publ., 2022, vol. 2, pp. 168–172 (in Russian).
13. Puzanov A.V., Kirillov V.V., Bezmaternykh D.M., Alekseev I.A., Vdovina O.N., Ermolaeva N.I., Zarubina E.Yu., Vinokurova G.V. [et al.]. Ecological status of streams in the area of the Vostochnyi cosmodrome. *Geografiya i prirodnye resursy*, 2017, no. 2, pp. 66–72. DOI: 10.21782/GIPR0206-1619-2017-2(66-72) (in Russian).
14. Koroleva T.V., Sharapova A.V., Krechetov P.P. A chemical composition of snow on areas exposed to space-rocket activities pollution (Altai republic). *Gigiena i sanitariya*, 2017, vol. 96, no. 5, pp. 432–437. DOI: 10.1882/0016-9900-2017-96-5-432-437 (in Russian).
15. Puzanov A.V., Sambros V.V., Alekseev I.A., Bezmaternykh D.M. Landshafty territorii kosmodroma «Vostochnyi» i ikh antropogennaya transformatsiya [Landscapes of the territory of the Vostochny cosmodrome and their anthropogenic transformation]. Barnaul, OOO «Pyat' plyus» Publ., 2018, 227 p. (in Russian).
16. Yaguzhinskii L.S., Manukhov I.V., Vagapova E.R., Kassenikh A.G., Konopleva M.N., Zavil'gel'skii G.B., Kotova V.Yu., Bruskov V.I. [et al.]. Eksperimental'nye issledovaniya vliyaniya nizkikh konsentratsii heptila i produktov ego gidroliza na vodu i biologicheskie ob'ekty [Experimental studies of the influence of low concentrations of heptyl and its hydrolysis products on water and biological objects]. In: Doctor of Chemical Sciences, Prof. L.S. Yaguzhinskii ed. Moscow, Interdisciplinary Center for Fundamental Research MIPT Publ., 2015, 230 p. (in Russian).
17. Shpigun O.A., Kondratev A.D. Estimation peculiarities low concentration of unsymmetrical dimethylhydrazine influence on environment during exploration of rocket equipment. *Ekologicheskii vestnik nauchnykh tse ntrov Chernomorskogo ekonomicheskogo sotrudnichestva*, 2004, no. 4, pp. 59–63 (in Russian).
18. Kolyado I.B., Plugin S.V., Tribunsky S.I., Karpenko A.A. The dynamics of the prevalence of diseases of the circulatory system among the population of the Altai territory, living in the zone of influence of rocket and space activities. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*, 2019, no. 6, pp. 353–358. DOI: 10.31089/1026–9428–2019–59–6–353–358 (in Russian).

19. Meshkov N.A., Valtseva E.A., Kharlamova E.N., Kulikova A.Z. Real and unreal backlashes of aerospace activity for the health of population residing near areas of fall of being separated parts of carrier rockets. *Gigiena i sanitariya*, 2015, vol. 94, no. 7, pp. 117–122 (in Russian).

20. Kolyado I.B., Plugin S.V., Shoikhet Ya.N. Population health in the Altai krai territories adjacent to the areas of falling of separable parts of rocket engines. A comparative study of health indexes. *Byulleten' nauki i praktiki*, 2016, no. 6, pp. 115–125 (in Russian).

21. Skrebtsova N.V., Sovershaeva S.L., Pavlova E.A. Kharakteristika i analiz dinamiki smertnosti naseleniya, prozhivayushchego vblizi raionov padeniya otdelyayushchikhsya chastei raket-nositelei [Characteristics and analysis of the dynamics of mortality among population living near the fall areas of the separated parts of launch vehicles]. *ZNiSO*, 2005, no. 5 (146), pp. 30–32 (in Russian).

22. Sidorov P.I., Skrebtsova N.V., Sovershaeva S.L. Human health in the space rocket-making areas: medical and environmental aspects. *Gigiena i sanitariya*, 2006, no. 3, pp. 11–15.

23. Alekseev I.A., Alekhnovich A.V., Meredelina T.A., Karatsuba L.P., Shchiptsova E.A., Kruglov A.A. The content of heavy metals in soil and ground of natural-anthropogenic complexes and launching area of the cosmodrome "Vostochny". *Meditsina ekstremal'nykh situatsii*, 2016, no. 3 (57), pp. 70–76 (in Russian).

24. Polyakov A.D., Kombarova M.Yu., Salnikov A.A. Hygienic aspects of water use of the population of the territory in the zone of influence of the Vostochny cosmodrome. *Sanitarnyi vrach*, 2023, no. 1, pp. 26–35. DOI: 10.33920/med-08-2301-03 (in Russian).

25. Kombarova M.Yu., Polyakov A.D. Gigienicheskaya otsenka zagryaznennosti pochvy v zone vliyaniya kosmodroma «Vostochny» [Hygienic assessment of soil contamination in the zone influenced by the Vostochny cosmodrome]. *Profilakticheskaya meditsina – 2020: sbornik nauchnykh trudov Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem*. Saint Petersburg, North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov Publ., 2020, pt 1, pp. 209–212 (in Russian).

Polyakov A.D., Kombarova M.Yu., Radilov A.S., Alikbaeva L.A., Iakubova I.S., Suvorova A.V., Khurtsilava O.G. Assessment of the health risk for people residing on the territory influenced by the Vostochny cosmodrome under multi-factor and multi-environment exposure to chemicals. Health Risk Analysis, 2024, no. 2, pp. 63–73. DOI: 10.21668/health.risk/2024.2.06.eng

Получена: 17.04.2024

Одобрена: 14.06.2024

Принята к публикации: 24.06.2024