

УДК 504.064-613.6

**РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКОЛОГО-ГИГИЕНИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА
В РАЙОНАХ ПАДЕНИЯ ОТДЕЛЯЮЩИХСЯ ЧАСТЕЙ РАКЕТ-НОСИТЕЛЕЙ**

Зяблицкая А.Н.¹, Новикова И.И.², Щучинов Л.В.²

¹ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Республике Алтай», Горно-Алтайск, Россия

²ФБУН «Новосибирский НИИ гигиены», Новосибирск, Россия

Введение. Развитие космической отрасли определяет престиж страны и ее обороноспособность, способствует техническим достижениям и научным открытиям. Вместе с этим отмечается негативное влияние ракетно-космической деятельности на экологию, связанное с загрязнением окружающей среды отделяющимися частями ракет-носителей и токсичными компонентами ракетного топлива.

Цель исследования: обобщить данные эколого-гигиенического мониторинга Республики Алтай в районах падения отделяющихся частей ракет-носителей за 2011-2021 гг. для определения влияния космических запусков на экологическое состояние окружающей среды.

Материалы и методы. В ходе мониторинга были отобраны и лабораторно исследованы 2326 проб объектов окружающей среды на соответствие требованиям гигиенических нормативов, в том числе 657 проб на наличие несимметричного диметилгидразина (гептила) и продукта его распада – N-нитрозодиметиламина, относящихся к 1 классу токсической опасности. На маркеры загрязнения внешней среды ракетным топливом были исследованы 23 пробы приземного атмосферного воздуха, 157 проб снегового покрова, 231 проба воды открытых водоемов, 4 пробы питьевой воды из подземных источников водоснабжения, 243 пробы почвы, 3 образца мясных консервов.

Результаты. Выявлено наличие несимметричного диметилгидразина или N-нитрозодиметиламина в 7 пробах снега, 4 пробах воды открытых водоемов, 4 пробах питьевой воды, 2 пробах консервов из говядины. Все положительные пробы содержали токсиканты в концентрациях, которые были выше предельно допустимых, указанных в новых санитарных правилах и нормах СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».

Выводы. Принимая во внимание ужесточение подходов к нормированию токсических соединений ракетного топлива и обнаружение 1,1-диметилгидразина и N-нитрозодиметиламина в жизненно важных средах (питьевая вода, мясные продукты), следует увеличить объемы мониторинговых исследований подводных вод и продуктов животного происхождения, а также проводить плановые клинические обследования людей, живущих в районах падения отработанных частей ракет-носителей.

Ключевые слова: экологический мониторинг, ракетно-космическая деятельность, районы падения, отделяющиеся части ракет-носителей, ракетное топливо, несимметричный диметилгидразин, N-нитрозодиметиламин, предельно допустимая концентрация, Республика Алтай.

Для корреспонденции: Щучинов Леонид Васильевич, к.м.н., ведущий научный сотрудник ФБУН «Новосибирский научно-исследовательский институт гигиены» Роспотребнадзора. e-mail: leo2106@mail.ru.

Для цитирования: Зяблицкая А.Н., Новикова И.И., Щучинов Л.В. Результаты проведения эколого-гигиенического мониторинга в районах падения отделяющихся частей ракет-носителей. Медицина труда и экология человека. 2023;4:82-94.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

DOI: <http://dx.doi.org/10.24412/2411-3794-2023-10406>

THE RESULTS OF ENVIRONMENTAL MONITORING IN THE FALL AREAS OF REMOVABLE PARTS OF LAUNCH ROCKETS

Zyablitskaya A.N.¹, Novikova I.I.², Shchuchinov L.V.²

¹Center for Hygiene and Epidemiology in the Altai Republic, Gorno-Altai, Russia

²Novosibirsk Research Institute of Hygiene, Novosibirsk, Russia

Introduction. The development of the space industry determines the prestige of the country and its defense capability, promotes technical achievements and scientific discoveries. At the same time, there is a negative impact of space activities on the environment, associated with environmental pollution by separated parts of launch vehicles and toxic components of rocket fuel.

The aim of the study was to summarize the data of environmental and hygienic monitoring of the Altai Republic in the areas of impact of the separating parts of launch vehicles between 2011 and 2021 to determine the impact of space launches on the ecological state of the environment.

Material and methods. During the monitoring, 2326 samples of environmental objects were taken for compliance with the requirements of hygienic standards, including 657 samples for the presence of a component of hydrazine fuel - unsymmetrical dimethylhydrazine (heptyl) and its decomposition product - N-nitrosodimethylamine, belonging to the 1st class of toxic hazard. 23 samples of surface atmospheric air, 157 samples of snow, 231 samples of water from open reservoirs, 4 samples of drinking water from underground water sources, 243 samples of soil, 3 samples of canned meat were examined for markers of environmental pollution by rocket fuel.

Results. The presence of unsymmetrical dimethylhydrazine or N-nitrosodimethylamine was found in 7 snow samples, 4 open water samples, 4 drinking water samples, 2 canned beef samples. All positive samples contained toxicants in concentrations above the maximum permissible, taking into account the norms of the new sanitary rules 1.2.3685-21 "Hygienic standards and requirements for ensuring the safety and (or) harmlessness of environmental factors for humans".

Keywords: environmental monitoring, space activities, separating parts of launch vehicles, rocket fuel, unsymmetrical dimethylhydrazine, N-nitrosodimethylamine, maximum permissible concentrations, the Altai Republic.

For citation: Zyablitskaya A.N., Novikova I.I., Shchuchinov L.V. The results of environmental monitoring in the fall areas of removable parts of launch rockets. *Occupational Health and Human Ecology*. 2023; 4:82-94.

For correspondence: Leonid V. Shchuchinov, Cand.Sc. (Medicine), leading researcher, Novosibirsk Research Institute of Hygiene. e-mail: leo2106@mail.ru.

Financing: the study had no financial support.

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

DOI: <http://dx.doi.org/10.24412/2411-3794-2023-10406>

Введение. Ракетно-космическая деятельность (РКД) в современной России имеет большое значение для обеспечения национальной безопасности страны и научно-технического прогресса. Развитие космической отрасли определяет престиж страны, ее обороноспособность, способствует техническим достижениям и научным открытиям.

Наряду с этим отмечается и негативное влияние РКД на экологию, в том числе связанное с загрязнением окружающей среды, как отделяющимися (отработанными) частями ракет-носителей (РН), так и токсичными компонентами ракетного топлива (КРТ), так как падение отработанных ступеней происходит на сушу, а не в океан.

Между Правительством Республики Алтай и Российским космическим агентством 27.10.2000 был заключен договор, по которому регион входит в число территорий РФ, где при запусках с космодрома Байконур ракет-носителей «Протон» и «Союз» происходит периодическое падение отделяющихся частей. В Республике Алтай выделено 3 района падения: №309 (45,1 кв. км), где приземляются вторые ступени РН «Союз» (использующие углеводородное топливо), №326 и №327 (3056 и 2198 кв. км), где приземляются фрагменты вторых ступеней РН «Протон» (использующие гидразинное топливо). В целом эта зона охватывает 6 из 11 административных территорий республики, но населенные пункты в районах падения отсутствуют.

Главной экологической угрозой, связанной с ракетно-космической деятельностью в Республике Алтай, является возможное загрязнение территорий приземления отработанных частей РН «Протон» ракетным топливом на основе несимметричного диметилгидразина (НДМГ, 1,1-диметилгидразин, гептил), а также токсичными продуктами его разложения: нитрозодиметиламином (НДМА), диметиламином (ДМА), тетраметилтетразеном (ТМТ), формальдегидом [1-5]. Несимметричный диметилгидразин и нитрозодиметиламин относятся к веществам 1 класса токсической опасности. Так, гептил отличается нервно-паралитическим, канцерогенным, кожно-раздражающим, эмбриотоксическим и гонадотоксическим действием. По токсичности он сопоставим с боевыми отравляющими веществами. Еще выше токсичность продукта окисления гептила – нитрозодиметиламина, обладающего общетоксическим действием и канцерогенным эффектом [6-13].

Особенно опасны аварийные ситуации [14]. Именно случай аварийного падения третьей ступени РН «Союз-У» и грузового космического корабля «Прогресс М-12М» 24.08.2011 на территорию Республики Алтай послужил поводом для резко возросшего интереса жителей республики и средств массовой информации к проблеме отрицательного

воздействия космического топлива на здоровье людей и окружающую среду. В этой ситуации быстро и грамотно действовала служба Роспотребнадзора по Республике Алтай. Сразу после получения информации об аварии специалистами службы были разработаны мероприятия по предупреждению вреда для жизни и здоровья людей: создана оперативная группа, проведено санитарно-гигиеническое обследование территории падения отработанных частей РН, определены точки отбора проб внешней среды, проведен забор 49 образцов воды и 18 образцов почвы, которые были исследованы на наличие несгоревшего ракетного топлива и продуктов его разложения в Испытательном лабораторном центре ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Алтайском крае», имеющем аккредитацию на эти виды исследований. Кроме этого, в пострадавших от аварии районах был введен мониторинг обращаемости населения за медицинской помощью. Анализ полученных результатов исследования проб внешней среды свидетельствовал об отсутствии в них НДМГ и НДМА, а данные мониторинга лиц, обратившихся за медицинской помощью, показали, что среди людей, проживающих в месте аварии, случаев острых токсических отравлений зарегистрировано не было.

Между тем беспокойство населения было вполне обосновано: по оценке экспертов, количество невыработанного гептила в топливных баках вторых ступеней РН «Протон» может составлять 500-800 кг [15], а всего с 2000 по 2010 годы (до введения мониторинга в Республике Алтай) с космодрома «Байконур» было проведено 94 запуска РН «Протон», при этом общий вес фрагментов ракет, упавших на территорию республики, составляет около 2000 тонн [16]. Учитывая интенсивность деятельности космической отрасли, реальную возможность загрязнения территории Республики Алтай продуктами отработанного ракетного топлива и небывалый общественный резонанс к проблеме, Правительством Республики Алтай было принято решение о введении с 2011 года эколого-гигиенического мониторинга окружающей среды и организации углубленных медицинских обследований здоровья населения, живущего в зоне падения отработанных фрагментов ракет-носителей, с широким оповещением его о результатах этих наблюдений. В последующий период (с 2011 по 2021 годы) формировалась и совершенствовалась база эколого-гигиенического мониторинга, расширялся перечень лабораторных исследований.

Цель исследования: обобщить данные эколого-гигиенического мониторинга Республики Алтай в районах падения отделяющихся частей ракет-носителей за 2011-2021 гг. для определения влияния космических запусков на экологическое состояние окружающей среды.

Материалы и методы исследования. Мониторинг организован на территории шести административных территорий, являющихся районами падения отделяющихся частей ракет-носителей. Отбор проб объектов окружающей среды в районах падения проводился в течение 24 часов после запуска космического аппарата, в труднодоступных южных районах – в течение 48 часов, так как специалисты санитарной службы Республики Алтай по соглашению с ФГУП «Центр эксплуатации объектов наземной космической инфраструктуры» (ФГУП «ЦЭНКИ») участвуют после запусков с космодрома «Байконур» РН «Протон-М» в совместных облетах районов падения отработанных частей РН.

Всего с 2011 по 2021 годы были отобраны и исследованы в испытательном лабораторном центре (ИЛЦ) ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Республике Алтай» 2326 образцов окружающей среды на соответствие требованиям гигиенических нормативов (в том числе на наличие солей тяжелых металлов и нитратов): 586 проб воды открытых водоемов, 317 проб питьевой воды, 482 пробы почвы, 941 проба дикоросов (грибов, ягод, кедрового ореха) и овощей из огородов жителей. Кроме этого, проведено исследование 758 проб на наличие радионуклидов: 33 пробы воды, 76 проб почвы, 649 проб дикоросов.

Объекты окружающей среды на наличие гептила и продуктов его распада исследовали на трех лабораторных базах:

- в 2011 г. в ИЛЦ ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Алтайском крае» (г. Барнаул) методом хромато-масс-спектрометрии;

- в 2014-2021 гг. в ИЛЦ ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Республике Алтай» методом хромато-масс-спектрометрии;

- в 2014-2021 гг. в лаборатории ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» (г. Пермь) гибридным методом - газовой хроматографии и масс-спектрометрии для количественного определения N-нитрозодиметиламина и N-нитрозодиэтиламина (согласно «Соглашению о взаимодействии между Управлением Роспотребнадзора по Республике Алтай и Федеральным бюджетным учреждением науки «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения», 2013 год).

В рамках мониторинга были исследованы на наличие несимметричного диметилгидразина и его производных 657 образцов: 23 пробы атмосферного воздуха, 231 проба воды открытых водоемов, 4 пробы питьевой воды из подземных источников водоснабжения, 157 проб снегового покрова, 243 пробы почвы, 3 образца мясных консервов. Эти пробы также исследовались на определение содержания токсических химических элементов (нитратов, тяжелых металлов) и наличие радионуклидов.

Результаты. Эколого-гигиенический мониторинг базируется на лабораторном контроле концентраций загрязняющих веществ в природных средах (воздухе, воде, снежном покрове, почве, пищевых продуктах) для оценки их состояния и состояния окружающей среды в целом. В Республике Алтай при лабораторном исследовании 586 образцов воды открытых водоемов, 317 образцов питьевой воды, 482 образцов почвы, 941 пробы растительной продукции (лесные ягоды и орехи, овощей из огородов жителей) наличия химических экзотоксикантов не было обнаружено. Кроме этого, радиологический контроль не выявил превышения нормативов радиационной безопасности в 33 исследованных пробах воды, 76 пробах почвы, 649 пробах дикоросов.

Между тем маркерами загрязнения внешней среды компонентами ракетного топлива РН «Протон» являются несимметричный диметилгидразин и его метаболиты. Следует заметить, что в 2021 году были утверждены новые санитарные правила и нормы СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания», где требования к загрязнению изучаемыми токсикантами окружающей среды были ужесточены. В частности, если ранее

ПДК для гептила в воде, воздухе была $0,01 \text{ мг/дм}^3$, то теперь – $0,0001 \text{ мг/дм}^3$, то есть прежняя оценка воздействия ракетно-космической деятельности на состояние экологических систем должна быть пересмотрена.

Приземный атмосферный воздух в зоне возможного влияния РКД за анализируемый период отбирали в 14 населенных пунктах Майминского, Чемальского, Чойского, Турочакского и Улаганского районов, при этом контрольным районом являлся Кош-Агачский район, расположенный на удалении от районов падения РН. Было отобрано и исследовано гибридным методом (газовой хроматографии и масс-спектрометрии) 23 пробы воздуха. В 6 пробах атмосферного воздуха населенных пунктов Чемальского, Турочакского, Улаганского районов идентифицированы N-нитрозодиэтиламин и N-нитрозодифениламин, при этом токсических соединений (гептила и N-нитрозодиметиламина) в отмеченных пробах не было обнаружено, так как 1,1-диметилгидразин очень быстро распадается в воздушной среде – от 10 минут до нескольких часов [17].

В открытых водоемах несимметричный диметилгидразин подвергается биоразложению с образованием N-нитрозодиметиламина [18], поэтому при исследовании 231 пробы речной или озерной воды в 9 пробах (3,9%) обнаружен только N-нитрозодиметиламин, концентрации которого были от $0,00012$ до $0,00765 \text{ мг/дм}^3$, то есть выше предельно допустимой. Положительные пробы были отобраны из реки Бия и озера Телецкого (Турочакский район), из озер Чойского и Чемальского районов, реки Челушман и озера Ашпагай (Улаганский район).

При лабораторном исследовании методом хромато-масс-спектрометрии 4 проб питьевой воды, отобранных в Шебалинском и Турочакском районах, был обнаружен 1,1-диметилгидразин во всех пробах с вероятностью совпадения с библиотечным масс-спектром от 13% до 26% [19]. В этих же 4 пробах методом количественного хромато-масс-спектрометрического анализа в режиме селективного ионного мониторинга обнаружен N-нитрозодиметиламин в концентрациях от $0,00039$ до $0,001 \text{ мг/дм}^3$, то есть выше ПДК.

В зимнее время в районах падения отработанных частей РН было отобрано 157 образцов снега, при исследовании которых в 7 образцах (4,6%) было выявлено наличие 1,1-диметилгидразина с вероятностью совпадения с библиотечным масс-спектром 6–9% [19]. Положительные пробы снега были забраны в апреле 2018 и 2019 годов в Улаганском районе.

При лабораторном исследовании 243 образцов почвы, отобранных после пусков в зоне падения отработанных ступеней ракет, несимметричного диметилгидразина и токсичных продуктов его разложения не обнаружено.

Продукты растительного происхождения на наличие несимметричного диметилгидразина и его метаболитов не исследовались, потому что НДМГ и его производные в умеренных дозах не являются токсичными для растений и даже могут служить поставщиками азота, поскольку гептил вступает в реакцию с монодикарбоновыми кислотами, образуя бетаины, которые активно участвуют в азотистом обмене растений [20].

Из пищевых продуктов животного происхождения были исследованы 3 пробы мясных консервов (2 образца из мяса говядины и 1 образец мяса дикой птицы) из сел Шебалинского

и Турачакского района, где ранее было выявлено наличие в питьевой воде N-нитрозодиметиламина, при этом 2 пробы (консервы из говядины) были положительными.

Таблица 1

Результаты определения гептила и НДМА методом хромато-масс-спектрометрии в окружающей среде Республики Алтай

Table 1

The results of the determination heptyl and NDMA by chromato-mass spectrometry in the environment in the Altai Republic

Годы	Количество исследованных проб/из них положительных					
	Воздух	Вода открытых водоемов	Вода питьевая	Снег	Почва	Пищевые продукты
2011		49			18	
2014		21		34	36	
2015		28		41	29	
2016		10		26	36	
2017	23	34			33	
2018		20/2		22/4	14	
2019		48/2	4/4	18/3	45	3/2
2020		15			30	
2021		6		16	2	
ВСЕГО	23/0	231/4	4/4	157/7	243/0	3/2

В 2012 и 2013 годах исследования на несимметричный диметилгидразин и его метаболиты не проводились (пробы воды, почвы, воздуха, пищевых продуктов исследовались только на соответствие требованиям гигиенических нормативов, в том числе на наличие солей тяжелых металлов и нитратов).

Кроме лабораторных исследований объектов внешней среды, в период с 2011 по 2021 гг. в Республике Алтай отслеживалась обращаемость населения в медицинские организации на территории 6 районов, входящих в зону падения ступеней РН. Всплесков обращаемости в дни запусков ракет не зафиксировано, а среди получивших медицинскую помощь 3316 пациентов случаев острых токсических отравлений не зарегистрировано.

С целью информирования населения в прессе и на телевидении Республики Алтай было организовано регулярное оповещение людей о мониторинге санитарно-эпидемиологической обстановки и проводимой профилактической работе, что позволило снять социально-психологическое напряжение у жителей и сформировать адекватное отношение к ракетно-космической деятельности.

Обсуждение. В целом анализ научных статей, рассматривающих воздействие ракетно-космической деятельности в зонах падения вторых ступеней, показывает отсутствие компонентов ракетного топлива в приземном воздухе, почве, воде, снеге, растительных культурах при штатных ситуациях [21-26]. Сравнительное изучение районов падения первых и вторых ступеней ракет-носителя «Протон» показало, что участки химического загрязнения снега выявляются только в районах падения первых ступеней, при условии, что отбор проб проводится на расстоянии не более 10 м от упавших фрагментов [14, 23].

Наряду с этим в недавно опубликованных источниках, рассматривающих ситуацию в Республике Алтай [18, 27], было показано, что внешняя среда загрязнена компонентами ракетного топлива в остаточных количествах, и был сделан вывод об относительной безопасности экологической ситуации на основании того, что концентрации несимметричного диметилгидразина и его производных в исследованных пробах объектов внешней среды не превышали гигиенических нормативов (действующих на тот момент). Но ввиду пересмотра предельно допустимых концентраций в 2021 году, этот вывод следует теперь признать не отвечающим современным требованиям: скрининговые исследования по определению компонентов ракетного топлива обнаружили наличие гептила и продуктов его распада в подземных водах и воде открытых водоемов, пищевых продуктах животного происхождения в концентрациях, которые были выше предельно допустимых.

В целом следует отметить, что с 2017 года расширился перечень исследуемых объектов окружающей среды (добавились пробы снега, подземных вод, продуктов питания животного происхождения). Причем эти исследования показали наличие НДМГ или НДМА в жизненно важных средах (питьевой воде и мясе), что свидетельствует о необходимости в дальнейшем существенно увеличить объемы исследований подземных вод, используемых для питья, и пищевых продуктов животного происхождения (молока, мяса, рыбы, птицы, яиц) для количественного определения маркеров ракетно-космического топлива, учитывая животноводческую специализацию региона и традиционные пищевые привычки жителей с акцентом на употребление мяса.

Выводы

1. Данные экологического мониторинга показали присутствие гептила и продуктов его распада в подземных водах, воде открытых водоемов и пищевых продуктах в количествах, превышающих установленную предельно допустимую концентрацию.
2. Следует увеличить объем исследований питьевой воды и пищевых продуктов животного происхождения (мяса, рыбы, птицы) для количественного определения маркеров ракетно-космического топлива, учитывая специализацию региона (животноводство) и пищевые привычки жителей, являющихся в массе мясоедами.

3. Необходимо продолжить мониторинг здоровья населения, проживающего в районах падения отработанных частей ракет-носителей.

Список литературы:

1. Бурков В.А. Проблемы эксплуатации районов падения РН на территории Томской области. В кн.: Материалы научно-технической конференции «Проблемные вопросы открытия и эксплуатации трасс запусков космических аппаратов, баллистического и метеорологического обеспечения пусков ракет-носителей». М.: ЦЭНКИ, 2010.
2. Двуреченский А.И., Авдошкин В.В. Проблемы эксплуатации районов падения отделяющихся частей РН. *Мир науки, культуры, образования*. 2010; 5: 247-248.
3. Ефременков А.А. Основные направления работ по обеспечению экологической безопасности в районах падения отделяющихся частей ракет и ракет-носителей. *Мир науки, культуры, образования*. 2010; 5: 248–249.
4. Спицын А.Г. Проблемы глобальной экологии в мировой политике XXI века. Вестник Московского государственного лингвистического университета. 2014; (23): 174-185.
5. Schmidt E.W. Hydrazine and its Derivatives. New York: John Wiley & Sons; 2001.
6. Белов А.А. К вопросу о токсичности и опасности гидразина и его производных. *Современные проблемы токсикологии*. 2000; 1: 25-33.
7. Братков А.А., Серегин Е.П., Горенков А.Ф. Химмотология ракетных и реактивных топлив. М.: Химия, 1987.
8. Кричевский С.В. Экологическая политика и экологическая безопасность ракетно-космической деятельности (методологические и практические аспекты). *Конверсия в машиностроении*. 2006; 2: 32-36.
9. Мешков Н.А., Вальцева Е.А. Эпидемиолого-гигиеническая оценка влияния последствий ракетно-космической деятельности на здоровье населения. *Мир науки, культуры, образования*. 2010; 5: 260-262.
10. Онищенко Г.Г. Влияние состояния окружающей среды на здоровье населения. Нерешенные проблемы и задачи. *Гигиена и санитария*. 2003; 82(1): 3-10.
11. Choudhary G., Ilansen H., Donkin S., Kirman C. Toxicological profile for hydrazines. US Dep. Health Hum. Serv. 1997; 5: 1-185.
12. Carlsen L., Kenessov B.N., Batyrbekova S.Y., Kolumbaeva, S.; Shalakhmetova, T.M. Assessment of the mutagenic effect of 1,1-dimethyl hydrazine. *Environ. Toxicol. Pharmacol.* 2009; 28: 448-452.
13. Kenessov B., Alimzhanova M., Sailaukhanuly Ye., Baimatova N., Abilev M., Batyrbekova S., et al. Transformation products of 1,1-dimethylhydrazine and their distribution in soils of fall places of rocket carriers in Central Kazakhstan. *Sci. Total. Environ.* 2012; 427-428: 78-85. DOI: <https://10.1016/j.scitotenv.2012.04.017>
14. Koroleva T.V., Semenov I.N., Sharapova A.V., Krechetov P.P., Lednev S.A. Ecological consequences of space rocket accidents in Kazakhstan between 1999 and 2018. *Environ. Poll.* 2021; 268:115711. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115711>

15. Кручинин Н.А., Половцев С.В., Глухарев И.И. Новые физико-химические методы снижения токсического воздействия при падении отделяющихся частей ракет. *Двойные технологии*. 2001; 3: 21-25.
16. Робертус Ю.В., Пузанов А.В., Любимов Р.В., Архипов И.А., Горбачев И.В. Анализ распределения фрагментов отделяющихся частей ракетносителей «Протон» на территории Республики Алтай. *Мир науки, культуры, образования*. 2013; 2(39): 314-317.
17. Буряк А.К., Татаурова О.Г., Ульянов А.В. Исследование продуктов трансформации несимметричного диметилгидразина на модельных сорбентах методом газохроматографии/масс-спектрометрии. *Масс-спектрометрия*. 2004; 1(2): 147-152.
18. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). Toxicological Profiles. DOI: <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiledocs/index.html>
19. Алексеев В.Б., Уланова Т.С., Нурисламова Т.В., Попова Н.А., Мальцева О.А. Хромато-масс-спектрометрическая идентификация несимметричного диметилгидразина и его производных в объектах окружающей среды и биологических средах населения, проживающего вблизи районов падения отделяющихся частей ракет-носителей. *Гигиена и санитария*. 2020; 99(8): 773-779. DOI: <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2020-99-8-773-779>
20. Ермаков Е.И., Панова Г.Г., Петрова З.М., Остапенко В.С., Бойцова Л.В. Влияние несимметричного диметилгидразина на состояние почвенно-растительной системы. В кн.: Экологические аспекты воздействия компонентов жидких ракетных топлив на окружающую среду. Материалы научно-практической конференции. Санкт-Петербург: РНЦ «Прикладная химия», 1996: 15-19.
21. Архипов И.А. Оценка воздействия ракетно-космической деятельности на экосистемы Алтае-Саянской горной страны (1998-2010 годы). *Мир науки, культуры, образования*. 2010; 5: 263-265.
22. Филиппов В.Л., Криницын Н.В., Филиппова Ю.В., Нечаева Е.Н. Методические подходы установления причинно-следственных связей возможного влияния факторов ракетно-космической деятельности на здоровье населения. *Мир науки, культуры, образования*. 2010; 5(24): 265-267.
23. Семенов И.Н., Шарапова А.В., Королева Т.В., Клинк Г.В., Кречетов П.П., Леднев С.А. Азотсодержащие вещества в снеге районов падения ступеней ракеты-носителя «Протон» в 2009–2019 гг. *Лед и Снег*. 2021; 61(2): 301-310. DOI: <https://doi.org/10.31857/S2076673421020090>
24. 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; 5: 432-437. DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-5-432-437>
25. Koroleva T.V., Krechetov P.P., Semenov I.N., Sharapova A.V., Lednev S.A., Karpachevskiy A.M., et al. The environmental impact of space transport. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 2018; 58: 54-69. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2017.10.013>

26. Sharapova A.V., Semenov I.N., Koroleva T.V., Krechetov P.P., Lednev S.A., Smolenkov A.D. Snow pollution by nitrogen-containing substances as a consequence of rocket launches from the Baikonur Cosmodrome. *Science of the Total Environment*. 2020; 709: 136072. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136072>.
27. Нурисламова Т.В., Алексеев В.Б., Уланова Т.С., Мальцева О.А. Хромато-масс-спектрометрическая идентификация несимметричного диметилгидразина и N-нитрозодиметиламина. *Гигиена и санитария*. 2021; 100(5): 422-427. DOI: <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-5-422-427>

References:

1. Burkov V.A. Problems of exploitation of the regions of the fall of the launch vehicle on the territory of the Tomsk region. In: Proceedings of the Scientific and Technical Conference "Problem Issues of Opening and Operation of Spacecraft Launch Routes, Ballistic and Meteorological Support for Launch Vehicles". Moscow: TsENKI; 2010. (In Russ)
2. Dvurechenskiy A.I., Avdoshkin V.V. Actual management of drop zones for carrier rockets. *Mir nauki, kul'tury, obrazovaniya*. 2010; 5: 247-248. (In Russ)
3. Efremenkov A.A. The basic directions of works on maintenance of ecological safety in areas of falling of separating parts of rockets and carrier rockets. *Mir nauki, kul'tury, obrazovaniya*. 2010; 5: 248-249. (In Russ)
4. Spitsyn A.G. Problems of global ecology in world politics of the XXI century. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo lingvisticheskogo universiteta*. 2014; 23: 174-185. (In Russ)
5. Schmidt E.W. Hydrazine and its Derivatives. New York: John Wiley & Sons. 2001.
6. Belov A.A. On the question of the toxicity and hazards of hydrazine and its derivatives. *Sovremennye problemy toksikologii*. 2000; 1: 25-33. (In Russ)
7. Bratkov A.A., Seregin E.P., Gorenkov A.F. *Chemmotology of rocket and jet fuels*. Moscow: Chemistry; 1987. (In Russ)
8. Krichevskiy S.V. Ecological policy and ecological safety of rocket-space activity (methodological and practical aspects). *Konversiya v mashinostroenii*. 2006; 2: 32-36. (In Russ)
9. Meshkov N.A., Valtseva E.A. Epidemiological and hygienic assessment of the impact of the consequences of rocket and space activities on public health. *Mir nauki, kul'tury, obrazovaniya*. 2010; 5: 260-262. (In Russ)
10. Onishchenko G.G. Influence of the environment state on the health of the population. unsolved problems and tasks. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2003; 82(1): 3-10. (In Russ)
11. Choudhary G., Ilansen H., Donkin S., Kirman C. Toxicological profile for hydrazines. *US Dep. Health Hum. Serv.* 1997; 5: 1-185.
12. Carlsen L., Kenessov B.N., Batyrbekova S.Y., Kolumbaeva, S.; Shalakhmetova, T.M. Assessment of the mutagenic effect of 1,1-dimethyl hydrazine. *Environ. Toxicol. Pharmacol.* 2009; 28: 448-452.

13. Kenessov B., Alimzhanova M., Sailaukhanuly Ye., Baimatova N., Abilev M., Batyrbekova S., et al. Transformation products of 1,1-dimethylhydrazine and their distribution in soils of fall places of rocket carriers in Central Kazakhstan. *Sci. Total. Environ.* 2012; 427-428:78-85. DOI: <https://10.1016/j.scitotenv.2012.04.017>
14. Koroleva T.V., Semenov I.N., Sharapova A.V., Krechetov P.P., Lednev S.A. Ecological consequences of space rocket accidents in Kazakhstan between 1999 and 2018. *Environ. Poll.* 2021; 268:115711. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115711>
15. Kruchinin N. A., Polovtsev S. V., Glukharev I. I. New physical and chemical methods for reducing the toxic effect during the fall of the separating parts of rockets. *Dvoynnyye tekhnologii.* 2001; 3: 21-25. (In Russ)
16. Robertus Yu.V., Puzanov A.V., Lyubimov R.V., Arkhipov I.A., Gorbachev I.V. Analysis of fragments separated parts of carrier rockets «Proton» in Altai Republic. *Mir nauki, kul'tury, obrazovaniya.* 2013; 2(39): 314-317. (In Russ)
17. Buryak A.K., Tataurova O.G., Ul'yanov A.V. Investigation of the transformation products of unsymmetrical dimethylhydrazine in model sorbents by gas chromatography/mass spectrometry. *Mass-spektrometriya.* 2004; 1(2): 147-152. (In Russ)
18. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). Toxicological Profiles. DOI: <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiledocs/index.html>
19. Alekseev V.B., Ulanova T.S., Nurislamova T.V., Popova N.A., Maltseva O.A. Chromato-mass spectrometric identification of asymmetric dimethylhydrazine and its derivatives in environmental objects and biological media in the population residing near the fall areas of separated rocket vehicles parts. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal).* 2020; 99(8): 773-779. DOI: <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2020-99-8-773-779> (In Russ)
20. Ermakov E.I., Panova G.G., Petrova Z.M., Ostapenko V.S., Boitsova L.V. Influence of unsymmetrical dimethylhydrazine on the state of the soil-vegetative system. Ecological aspects of the impact of components of liquid rocket fuels on the environment. *Materialy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Sankt-Peterburg: RNTS «Prikladnaya khimiya», 1996: 15-19.* (In Russ)
21. Arkhipov I.A. Assessment of the impact of rocket and space activities on the ecosystems of the Altai-Sayan mountainous country (1998-2010). *Mir nauki, kul'tury, obrazovaniya.* 2010; 5: 263-265. (In Russ)
22. Filippov V.L., Krinitsyn N.V., Filippova Yu.V., Nechaeva E.N. Methodological approaches to establishing cause-and-effect relationships of the possible influence of rocket and space activity factors on public health. *Mir nauki, kul'tury, obrazovaniya.* 2010; 5(24): 265-267. (In Russ)
23. Semenov I.N., Sharapova A.V., Koroleva T.V., Klink G.V., Krechetov P.P., Lednev S.A. Nitrogen-containing substances in the snow of the fall areas of the Proton launch vehicle stages in 2009–2019. *Ice and Snow.* 2021; 61(2): 301-310. DOI: <https://doi.org/10.31857/S2076673421020090> (In Russ)
24. 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 Sanitaria (Hygiene and*

- Sanitation, Russian journal*). 2017; 96(5): 432-437. DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-5-432-437> (In Russ.)
25. Koroleva T.V., Krechetov P.P., Semenov I.N., Sharapova A.V., Lednev S.A., Karpachevskiy A.M., et al. The environmental impact of space transport. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 2018; 58: 54-69. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2017.10.013>. (In Russ)
26. Sharapova A.V., Semenov I.N., Koroleva T.V., Krechetov P.P., Lednev S.A., Smolenkov A.D. Snow pollution by nitrogen-containing substances as a consequence of rocket launches from the Baikonur Cosmodrome. *Science of the Total Environment*. 2020; 709: 136072. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136072>.
27. Nurislamova T.V., Alekseev V.B., Ulanova T.S., Maltseva O.A. Chromato-mass-spectrometric identification of unsymmetrical dimethylhydrazine and N-nitrosodimethylamine. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2021; 100(5): 422-427. DOI: <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-5-422-427> (In Russ)

Поступила/Received: 06.06.2023

Принята в печать/Accepted: 26.09.2023