

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ РИСКИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ КОСМИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

Научная статья

Андреева Е.С.^{1,*}, Нестерова И.С.²¹ ORCID : 0000-0001-7087-1870;^{1,2} Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (espmeteo[at]yandex.ru)

Аннотация

Актуальность проблемы оценки экологических рисков функционирования космической отрасли обусловливается возникновением в связи с этим ряда геэкологических опасностей для поверхности Земли и населения планеты в целом, а также отсутствием нормативно-правовой и научно-обоснованной системы оценивания и управления указанными разноуровневыми экологическими рисками. Последние могут быть вызваны проблемами загрязнения околоземного космического пространства и земной поверхности объектами космического мусора, попаданием во внешнюю среду порций ракетного топлива на основе несимметричного диметилгидразина (гептила) после отделения 1-й и 2-й ступеней ракет-носителей. Полученные в данном исследовании результаты расчетов индивидуального канцерогенного риска ингаляционного и перорального действия 1,1-диметилгидразина и его производного N-нитрозодиметиламина показали наличие неприемлемого для человека уровня. При этом уровень ингаляционного действия указанного выше риска здоровью оказался несколько выше, что также актуализирует исследуемую проблему. Как представляется авторам, даже при наиболее благоприятном развитии событий, когда гептил (1,1-диметилгидразин) может оказаться в рамках территории с весьма низкой плотностью населения, на значительном удалении от населенных пунктов, его концентрация – вещества 1 класса опасности – снизится на 1 – 2 ПДК только через 20 лет, а дальнейшее биохимическое окисление приведет к накоплению N-нитрозодиметиламина, который по данным МАИР отличается доказанными канцерогенными, мутагенными и тератогенными свойствами.

Ключевые слова: космическая отрасль, околоземное космическое пространство, экологические риски, риски здоровью, геэкологические последствия.

ENVIRONMENTAL RISKS OF OPERATION OF SPACE INDUSTRY OBJECTS

Research article

Andreeva E.S.^{1,*}, Nesterova I.S.²¹ ORCID : 0000-0001-7087-1870;^{1,2} Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

* Corresponding author (espmeteo[at]yandex.ru)

Abstract

The relevance of the problem of evaluating the environmental risks of the space industry is due to the emergence of a number of geo-ecological hazards to the surface of the Earth and the population of the planet as a whole, and the lack of regulatory and scientifically based system of assessment and management of the above split-level environmental risks. The latter can be caused by the problems of pollution of the near-Earth space environment and the Earth surface by the objects of space debris, penetration into the external environment of portions of rocket fuel on the basis of unsymmetrical dimethylhydrazine (heptyl) after separation of the 1st and 2nd stages of launch vehicles. The results of calculations of individual carcinogenic risk of inhalation and peroral action of 1,1-dimethylhydrazine and its derivative N-nitrosodimethylamine obtained in this study showed the presence of its unacceptable level for people. At the same time, the level of inhalation action of the aforementioned health risks turned out to be somewhat higher, which also highlights the studied problem. As it appears to the authors, even in case of the most favourable course of events when heptyl (1,1-dimethylhydrazine) can appear within the territory with a very low population density, at a considerable distance from the settlements, its concentration – a 1st class danger substance – will decrease by 1 – 2 MAC only in 20 years, and further biochemical oxidation will lead to the accumulation of N-nitrosodimethylamine, which, according to IARC is characterized by its proven carcinogenic, mutagenic and teratogenic properties.

Keywords: space industry, near-Earth space environment, environmental risks, health risks, geo-ecological consequences.

Введение

Обсуждение проблемы загрязнения околоземного космического пространства и земной поверхности, возникающей в результате развития космической отрасли, началось еще в 80-х гг. XX века, когда появились первые разновариантные угрозы для жителей Земли из-за ряда геэкологических последствий космической деятельности, повышающих риски здоровью населения. При этом указанные выше экологические риски или риски здоровью могут обуславливаться весьма разнородными причинами, обеспечивающими сложность их выявления и последующей оценки. Так, в пределах собственно околоземного космического пространства уже в конце XX – начале XXI вв. участились случаи столкновений пилотируемых и управляемых аппаратов с обломками космического мусора и последующими его выпадениями на земную поверхность. В пределах земной поверхности, в свою очередь, возникало загрязнение, обусловленное не только выпавшими фрагментами космических аппаратов, но и попаданием во внешнюю среду порций ракетного топлива на основе несимметричного диметилгидразина (гептила) после отделения 1-й и 2-й ступеней ракет-носителей. Необходимо отметить, что в XXI веке указанная выше проблема отсутствия

комплексной системы оценивания и управления описанными выше разноуровневыми экологическими рисками все еще далека от своего решения, что, как представляется, актуализирует его научный поиск.

Методы и принципы исследования

В этой связи исследование нацелено на выявление и оценку экологических рисков, обусловленных загрязнением земной поверхности вследствие выпадения фрагментов космических аппаратов и попадания порций ракетного топлива на основе несимметричного диметилгидразина (гептила) для дальнейшей разработки системы оценивания и управления экологическими рисками функционирования объектов космической отрасли.

Для реализации цели исследования были использованы опубликованные в ряде научных изданий работы отечественных авторов, а также научно-нормативные документы. Основными методами исследования являются традиционные научные подходы, к которым можно отнести: литературно-описательный, математико-статистический.

Обсуждение

Для исследования особенностей загрязнения околоземного космического пространства космическим мусором стоит рассмотреть такие понятия, как: «космический мусор» и «околоземное космическое пространство».

Так, под космическим мусором понимают все созданные человеком объекты, а также их части, пребывающие в космосе, которые, не принося пользы, создают опасность для космических аппаратов, спутников, МКС и космонавтов, работающих в открытом космосе.

Околоземное космическое пространство, в свою очередь, представляет собой свободное пространство вокруг орбиты земли, в котором могут находиться космические аппараты, а также небесные тела, ближайшее из которых – Луна.

Очевидно, что в связи с возрастающими темпами освоения околоземного космического пространства, активизацией космических запусков различных аппаратов, рассматриваемая проблема геоэкологических аспектов и последствий загрязнения космическим мусором будет приобретать все большую актуальность.

В настоящее время имеются многочисленные факты, доказывающие возникновение различных последствий загрязнения околоземного космического пространства космическим мусором. Так, по данным службы баллистико-навигационного обеспечения Центра управления полётами ЦНИИмаш, 16 июня 2022 года из-за угрозы столкновения с обломками неработающего космического аппарата была увеличена высота орбиты Международной космической станции (МКС) на 890 м. Важно отметить, что ранее высота МКС составляла 420 км [1], и упомянутый перевод космической станции на более высокую орбиту не только создал опасность для ее экипажа из-за роста уровня радиационного излучения, но и обусловил большие затраты для подъема грузов и оборудования в связи с ростом высоты станции.

Необходимо добавить, что известны и случаи столкновений космических аппаратов с обломками неработающих частей устройств в околоземном космическом пространстве. Так, первое столкновение произошло в 1994 году, когда во время возвращения с космической станции «Мир» советский челнок «Союз ТМ-17» столкнулся со станцией «Мир» всего через несколько минут после отстыковки, однако серьезных последствий в тот момент вызвано не было [2].

Одно из наиболее крупных происшествий за последнее время произошло 10 февраля 2009 года, когда коммерческий спутник американской компании Iridium, выведенный на орбиту в 1997 году, столкнулся с военным российским спутником связи «Космос-2251», запущенным в 1993 году и выведенным из эксплуатации в 1995 году [2].

В 2013 году было зафиксировано столкновение спутника-ретрорефлектора BLITS, созданного из различных видов стекла и имеющего размер 8 км, с осколками китайского космического мусора метеорологического спутника «Фэньюнь 1С», уничтоженного в 2007 году.

По данным на 2021 год в космосе содержится почти 128 млн. кусков мусора размером более 1 мм и 34 тыс. обломков размером более 10 см [2], что, несомненно, обуславливает дальнейший рост угроз столкновений между объектами космического мусора и космическими объектами.

Понятно, что решение описываемой выше проблемы потребует выведения на орбиту так называемых «космических уборщиков», над разработкой технологических вариантов которых в настоящее время работают специалисты Государственной корпорации «Роскосмос».

В настоящее время известен ряд проектов, реализация которых испытывает препятствия не только с технической, экономической сторон, но и со стороны международного космического права.

В частности, российскими учеными было разработано устройство для очистки космического пространства от крупного космического мусора, принцип действия которого связан с захватом мусора специальной крупноячеистой сетью конической формы, закреплённой по периметру раздвижной управляемой рамки с двигателями малой тяги и связанной с тросовой системой космического аппарата. Данная сеть собирает космический мусор и закрывается, не выпуская из сети мусор до сжигания в плотных слоях атмосферы.

Также в августе 2022 года специалисты АО «Информационные спутниковые системы им. академика М. Ф. Решетнева» предложили такой вариант решения проблемы образования космического мусора, при котором заложенные до старта пиротехнические устройства будут на орбите разделять аппарат на составные части, соединённые гибкими тросами. В результате реализации описываемого варианта, предусматривающего увеличение массы космических устройств, по окончании их эксплуатации аппараты по инерции будут опускаться в плотные слои атмосферы, где из-за сгорания произойдет уменьшение их массы, снижая тем самым количество космического мусора [2].

Однако выше перечислены не все опасности, которые могут возникать вследствие накопленного в околоземном космическом пространстве космического мусора [3].

Так, возможную опасность для глобальной климатической системы могут вызывать отработавшие космические аппараты, усиливая отражательные свойства пространства из-за блестящих поверхностей, активируя так называемый зеркальный эффект.

Кроме того, объективно существует и вероятность падения на Землю отработавших аппаратов, включая 1-ю и 2-ю ступени ракет-носителей, и обусловленное данными обстоятельствами загрязнение земной поверхности, в пределах океанов или суши [4], [5].



Рисунок 1 - Фрагмент отработавшего космического аппарата, обнаруженного в пределах островов арктической зоны России

Так, по данным разных источников, в российской части арктической и субарктической климатических зон со слабой способностью к самоочищению из-за выпадений космического мусора уже накопилось от 16 до 30 тыс т космических обломков. Особенно опасны при этом отработанные ступени ракетносителя «Циклон», в которых может содержаться до 500 кг гептила, весьма токсичного компонента ракетного топлива 1 класса опасности [6].

В связи с чем необходимо рассмотреть ряд случаев падения космического мусора на поверхность Земли.

Так, один из самых ранних случаев падения фрагментов указанного выше космического мусора произошел 5 сентября 1962 года, когда фрагмент аппарата «Спутник-4» упал в округе Манитовок штата Висконсин, США. Размер фрагмента аппарата составлял 0,15 м, а его вес – 9,5 кг.

В 1964 году американский спутник «Транзит-5В» потерпел аварию, в результате чего в земной атмосфере рассеялись 950 г радиоактивного изотопа ²³⁸Pu.

В 1968 году метеоспутник «Нимбус В-1» с ядерным реактором на борту упал в океан. В 1969 году при неудачном запуске советских лунных зондов «Космос-300» и «Космос-305» в атмосферу попало большое количество радиоактивных веществ. В 1970 году произошла авария на корабле «Аполлон-13», направляющегося к Луне с целью высадки для научных исследований. Из-за короткого замыкания на третьи сутки полёта астронавты вынуждены были сбросить лунный отсек с атомным реактором. Он до сих пор не найден. В 1978 году из-за разгерметизировавшегося спутника «Космос-904» на Канаду обрушился дождь из радиоактивных обломков. В 1982 году упал «Космос-1402», что привело к рассеиванию содержимого ядерного реактора над водами южной Атлантики.

Первым человеком, пострадавшим от попадания космического мусора, стал 6-летний мальчик из Китая У Цзе в 2002 году. 10-килограммовый кусок алюминия, оставшийся после запуска спутника Цзьюань-2В упал на дерево, под которым играл мальчик. 31 июля 2022 года основная ступень ракеты «Чанчжэн-5В» совершила неконтролируемый вход в атмосферу над территориями Индонезии и Малайзии.

Далее рассмотрим характеристики так называемой точки Немо в Тихом океане, в пределах которой происходит захоронение отработавших космических аппаратов.

Так, точка Немо представляет собой так называемый океанский полюс недоступности, ближайšie к ней острова находятся в 2688 км. В результате достаточно сложных погодных-климатических условий и океанских течений с повышенной скоростью, данное место в пределах Тихого океана признано в какой-то мере слабозаселенным или необитаемым местом океана. Также в пределах данного района океана запрещено судоходство. Координаты данной территории 48°52'31" южной широты и 123°23'33" западной долготы были впервые получены в 1992 году хорватским инженером-геодезистом Хрвое Лукатела. Из-за пустынности и необитаемости данной точки в Тихом океане все вышедшие из эксплуатации корабли стали захораниваться в данном месте. По этой причине на глубине 3 километров в окрестностях данного района упокоилось около 300 крупных космических аппаратов, из которых половина-советские и российские. В частности, в указанном районе захоронены 6 орбитальных станций «Салют» и самая крупная космическая станции XX века «Мир».

Однако наиболее опасным с экологической точки зрения аспектом выпадения космических аппаратов на земную поверхность является загрязнение земной поверхности компонентами ракетного топлива на основе несимметричного диметилгидразина (гептила) [6]. Районы выпадения космических объектов в пределах Российской Федерации распложены в арктической и субарктической климатических зонах, что усугубляет геоэкологические последствия загрязнения гептилом, поскольку известно, что снижение концентрации указанного вещества 1 класса опасности на 1-2 ПДК происходит более чем за 20 лет. Так, отборы проб грунтов, грунтовых вод и растительного покрова в районе космодрома «Плесецк» по данным [4] показали, что максимальные концентрации гептила составляют в грунте 268,4 мг/кг (2684 ПДК), в грунтовых водах – 24,0 мг/кг (1200 ПДК), в растительности – 46,6 мг/кг (466 ПДК). Из указанных выше примеров можно видеть, что загрязнение почв более существенно, чем загрязнение растительного покрова.

По данным Мешкова Н.А. и ряда источников [4], [5], [6] гептил – несимметричный диметилгидразин – сильнодействующий яд, в 6 раз токсичнее синильной кислоты, высокотоксичное вещество 1 класса опасности. При этом гептил хорошо растворим в воде, имеет щелочную реакцию, обладает мутагенным, канцерогенным, тератогенным действием. Известна кумулятивная особенность указанного вещества, которая проявляется как способность накапливаться в почве, живых тканях, объектах неживой природы. При биохимическом окислении в живых органах и тканях гептил образует нитрозодиметиламин, токсичность которого в 10 раз выше исходного вещества – несимметричного диметилгидразина. По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) опасность экологического воздействия гептила должна оцениваться аналогично действиям таких боевых отравляющих веществ, как зарин или фосген. Собственно, попадая в организм человека, гептил оказывает общетоксическое и кожно-раздражающее действие, непосредственно поражая печень, сердечно-сосудистую, центральную нервную и кроветворную системы организма [7].

Отсюда в соответствии с Руководством по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических факторов, загрязняющих окружающую среду (Р. 2.1.10.1920-04) [8] произведем оценку канцерогенного риска здоровью населения, обусловленного пероральным и ингаляционным действием 1,1-диметилгидразина (несимметричного диметилгидразина), а также действием продукта его биохимического окисления в организмах – N – нитрозодиметиламина.

Результаты

На начальном этапе идентификации опасности воспользуемся данными о канцерогенности несимметричного диметилгидразина (1,1-диметилгидразин) и N-нитрозодиметиламина, имеющимися в материалах Международного агентства изучения рака (МАИР). Так, согласно указанным выше документам 1,1-диметилгидразин в ходе экспериментальных исследований был отнесен к веществам группы 2В (CAS 57-14-7), канцерогенность которых возможна; N-нитрозодиметиламин, в свою очередь, оказался намного опаснее, попав в группу 2А веществ (CAS 62-75-9), канцерогенность которых для человека и животных доказана.

На следующем этапе оценки канцерогенного риска здоровью необходимо установить так называемую референтную концентрацию для хронического ингаляционного действия (Rfc , mg/m^3) оцениваемых в статье веществ, которая представляет собой суточное воздействие вещества в течение всей жизни человека, которое не приводит к возникновению неприемлемого риска для здоровья. Поскольку первичным, присутствующим в окружающей среде в виде загрязнения может быть 1,1-диметилгидразин, будем ориентироваться на значения его референтной концентрации по данным МАИР: $Rfc = 1,00E-05 mg/m^3$ или $Rfc = 0,00001 mg/m^3$.

Наконец, установим факторы канцерогенного потенциала или факторы наклона (SF , $(mg/kg \cdot сут)^{-1}$) при пероральном (SF_o) и ингаляционном (SF_i) воздействии. Так, исходя из возможного канцерогенного действия 1,1-диметилгидразина, факторы его канцерогенного потенциала для перорального и ингаляционного действия будут равны: $SF_o = SF_i = 550 (mg/kg \cdot сут)^{-1}$. Факторы канцерогенного потенциала N-нитрозодиметиламина несколько ниже: $SF_o = 51 (mg/kg \cdot сут)^{-1}$; $SF_i = 49 (mg/kg \cdot сут)^{-1}$.

Как указано во многих документах [8], канцерогенез представляет собой вероятностный процесс, развитие которого претерпевает ряд стадий, а механизм действия может сопровождаться прямым повреждением генома (генотоксическое действие) или опосредованным (эпигенетическое действие). Важно отметить, что в ряде научных работ [9] экспериментально установлено негенотоксическое действие 1,1-диметилгидразина, то есть для оценки опасности его воздействия на организм можно использовать референтную концентрацию, ниже величины которой риска не возникает. Однако в отношении N-нитрозодиметиламина генотоксические эффекты подтверждены [9], [10], [11], [12], в связи с чем данное канцерогенное вещество обладает беспороговым действием, и основным параметром оценки воздействия на организм данного вещества является фактор канцерогенного потенциала или фактор наклона (CF) при пероральном и ингаляционном поступлении вещества в течение жизни (70 лет).

Наиболее распространенным параметром оценки канцерогенного риска является так называемый единичный риск (UR). Данный параметр представляет собой верхнюю консервативную оценку канцерогенного эффекта у человека, подвергающегося в течение жизни (70 лет) воздействию канцерогена, поступающего с воздухом (при суточном потреблении воздуха $20 m^3/сутки$) или с водой (при суточном потреблении воды $2 л/сутки$). В формуле (1) представлены выражения для вычисления единичного риска (UR) ингаляционного и перорального эффектов:

$$UR_i = SF_i / 70 \times 20; UR_o = SF_o / 70 \times 2 \quad (1)$$

где UR_i – единичный риск ингаляционного действия

SF_i – фактор канцерогенного потенциала или фактор наклона ингаляционного действия, $(mg/kg \cdot сут)^{-1}$

UR_o – единичный риск перорального действия

SF_o – фактор канцерогенного потенциала или фактор наклона перорального действия, $(mg/kg \cdot сут)^{-1}$

Индивидуальный риск (CR) возможного развития канцерогенеза у населения вычисляется по формуле (2)

$$CR = LADC \times UR \quad (2)$$

где CR – индивидуальный канцерогенный риск здоровью

$LADC$ – средняя концентрация вещества в исследуемом объекте окружающей среды за весь период осреднения экспозиции (вода, mg/l ; воздух, mg/m^3)

UR – единичный риск (для воздуха, риск на $1 mg/m^3$)

Для определения величин популяционного риска (PCR), отражающего дополнительное число случаев злокачественных новообразований, возникающих на протяжении всей жизни вследствие воздействия несимметричного диметилгидразина (1,1-диметилгидразина) и N-нитрозодиметиламина, воспользуемся формулой (3):

$$PCR = CR \times POP \quad (3)$$

где PCR – популяционный канцерогенный риск

CR – индивидуальный канцерогенный риск

POP – численность исследуемой популяции, человек

Используя формулы 1 – 3, произведем оценку параметров канцерогенного риска как для несимметричного диметилгидразина (1,1-диметилгидразина), так и для его производного вещества – N-нитрозодиметиламина, результаты которой отразим в таблице 1.

Для расчета индивидуального канцерогенного риска ингаляционного действия (CR_i) в формуле (2), значение средней концентрации 1,1-диметилгидразина ($LADC$) допустим равным величине референтной концентрации указанного вещества $Rfc = 0,00001 mg/m^3$. Для оценки популяционного канцерогенного риска здоровью в формуле (3) будем учитывать число жителей близлежащего города – Архангельска, то есть $POP = 342\ 164$ человек.

Таблица 1 - Результаты оценки параметров канцерогенного риска здоровью населения, проживающего в зоне загрязнения ракетным топливом

Оцениваемое вещество	UR_i	UR_o	CR_i	CR_o	ПЦР	ПК
1,1-диметилгидразин	157,1	15,7	0,002	0,0002	684,3	68,4
N-нитрозодиметиламин	14,0	1,5	0,0001	0,00002	-	-

Для анализа полученных результатов воспользуемся системой критериев приемлемости канцерогенных рисков, изложенной в [8], согласно которой индивидуальный канцерогенный риск ингаляционного действия как для 1,1-диметилгидразина, так и для его производного N-нитрозодиметиламина является *неприемлемым* для населения. Так, для 1,1-диметилгидразина уровень индивидуального канцерогенного риска является *чрезвычайно опасным, недопустимым*; для N-нитрозодиметиламина уровень индивидуального канцерогенного риска является *опасным*. Величина индивидуального канцерогенного риска перорального действия 1,1-диметилгидразина *неприемлем* для населения, его уровень оценивается как *опасный*. В свою очередь величина индивидуального канцерогенного риска перорального действия N-нитрозодиметиламина соответствует верхней границе приемлемого риска, его уровень вызывает *беспокойство* и подлежит систематическому контролю.

Анализ результатов расчетов популяционного канцерогенного риска ингаляционного действия 1,1-диметилгидразина показал, что у 684 человек из 342 164 (то есть у 0,2 %) вероятно развитие канцерогенеза. Популяционный риск развития новообразований у населения в результате перорального действия 1,1-диметилгидразина несколько ниже. Так, возможность дальнейшего развития онкогенеза может наблюдаться у 68 человек из 342 164 (то есть у 0,02 % населения).

Поскольку N-нитрозодиметиламин представляет собой результат биохимического окисления 1,1-диметилгидразина, популяционный канцерогенный риск данного производного вещества в работе не оценивался. Весьма неблагоприятный уровень популяционного канцерогенного риска ингаляционного действия у населения Архангельска и области, выявленный в результате проведенных авторами расчетов, подтверждают статистические данные Минздрава России. Согласно которым Архангельская область отличается наибольшим числом случаев выявленного онкогенеза среди населения Российской Федерации по данным за 2019 – 2021 гг. Так, в среднем в Архангельской области ежегодно фиксируется в абсолютном выражении более 5 000 случаев канцерогенных новообразований. Кроме того, по данным [13] в 2021 году из 610 зафиксированных первичных случаев онкообразований у населения Архангельской области на 100 000 человек населения 437 случая (71,6 %) канцерогенеза были связаны с органами дыхательной системы (трахеи, легкие, бронхи). Сопоставление результатов оценки уровня популяционного канцерогенного риска ингаляционного действия 1,1-диметилгидразина позволяет сделать предположение, что из 437 случаев канцерогенеза органов дыхания на 100 000 человек населения у 45,8% человек болезнь могла быть обусловлена присутствием в окружающей среде исследуемого вещества – основного компонента ракетного топлива – гептила. Сопоставление результатов оценки уровня популяционного канцерогенного риска ингаляционного действия 1,1-диметилгидразина позволяет сделать предположение, что из 437 случаев канцерогенеза органов дыхания на 100 000 человек населения у 45,8% человек болезнь могла быть обусловлена присутствием в окружающей среде исследуемого вещества – основного компонента ракетного топлива – гептила.

Заключение

В заключении хотелось бы отметить, что при продолжении тенденции и загрязнении космоса отработавшими аппаратами наступит момент, когда доступ к выводу новых устройств и космических объектов на орбиту Земли будет невозможен. Подобный сценарий уже назван «эффектом Кесслера» и фактически наблюдается в околоземном космическом пространстве.

Несмотря на возможное дальнейшее развитие упомянутого эффекта, как представляется, данная ситуация может иметь положительный прогноз, если будут приняты все необходимые меры по очистке околоземного космического пространства со стороны всего мирового сообщества. Так, в настоящее время активный поиск решения данной проблемы ведет не только Россия, но также Китай, США, Япония, Швеция и некоторые другие страны, а, значит, общими усилиями возможно будет очистить околоземное космическое пространство и избежать катастрофы.

Геоэкологические последствия загрязнения земной поверхности ракетным топливом (1,1-диметилгидразином) и продуктами его биохимического окисления (N-нитрозодиметиламин), исходя из приближенных референтных концентраций указанных веществ, оказались весьма неблагоприятными для населения. Так, результаты расчетов индивидуального канцерогенного риска ингаляционного и перорального действия 1,1-диметилгидразина и его производного N-нитрозодиметиламина показали наличие неприемлемого для человека уровня. При этом следует подчеркнуть, что уровень ингаляционного действия указанного выше риска здоровью оказался неприемлемым, что, в целом, усугубляет геоэкологическую ситуацию. Кроме того, важно подчеркнуть, что даже при наиболее благоприятном развитии событий, когда гептил (1,1-диметилгидразин) может оказаться в рамках территории с весьма низкой плотностью населения, на значительном удалении от населенных пунктов, его концентрация, вещества 1 класса опасности, снизится на 1 – 2 ПДК только через 20 лет, а дальнейшее биохимическое окисление приведет к накоплению N-нитрозодиметиламин, который по данным МАИР отличается доказанными канцерогенными, мутагенными и тератогенными свойствами. При этом проблема отсутствия нормативно-правовой и научно-обоснованной системы оценивания и управления экологическими рисками районов деятельности космической отрасли, загрязненных гептилом (1,1-диметилгидразином) и его биохимическими производными, весьма усугубляет указанную ситуацию и требует незамедлительного решения.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Мишкин Д.В., Тихоокеанский государственный университет, Хабаровск, Российская Федерация

Conflict of Interest

None declared.

Review

Mishkin D.V., Pacific State University, Khabarovsk, Russian Federation

Список литературы / References

1. Воейкова А.В. Проблема космического мусора / А.В. Воейкова, Е.А. Шушканова // Актуальные проблемы космонавтики и авиации. — 2014. — 10. — с. 61-62.
2. Ключников В.Ю. Как очистить околоземное космическое пространство от космического мусора / В.Ю. Ключников // Воздушно-космическая сфера. — 2019. — 1(98). — с. 96-107.
3. Власов М.Н. Экологическая опасность космической деятельности / М.Н. Власов, С.В. Кричевский. — М: Наука, 1999. — 240 с.
4. Мешков Н.А. Методические основы оценки влияния последствий ракетно-космической деятельности на здоровье населения, проживающего вблизи районов падения отделяющихся частей ракет-носителей / Н.А. Мешков // Medline. — 2009. — 10. — с. 58-80.
5. Скребцова Н.В. Медико-экологическое обоснование мониторинга здоровья на территориях влияния ракетно-космической деятельности: автореф. дис. ... докт. мед. наук : 03.00.16, 03.00.13 / Скребцова Нина Валентиновна. — Сев. гос. мед. ун-т, Архангельск, 2006. — 48 с.
6. Методика оценки состояния экологической обстановки на полигоне (космодроме), в районах падения отделяющихся частей ракет-носителей и на сопредельных территориях. — М., 1998. — 11 с.
7. Идентификация факторов риска в регионах расположения районов падения отделяющихся частей ракет-носителей и оценка состояния здоровья населения, проживающего вблизи зон влияния ракетно-космической деятельности. — М.: НИИ ЭЧ и ГОС им. А.Н. Сысина РАМН, 2008. — 24 с.
8. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических факторов, загрязняющих окружающую среду (Р. 2.1.10.1920-04). — М.: Федеральный центр Госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. — 143 с.
9. Томилин Н.В. Генотоксическое и цитотоксическое действие несимметричного диметилгидразина при остром и субхроническом введении / Н.В. Томилин, О.А. Филько, А.В. Храброва и др. // Современные вопросы биомедицины. — 2018. — Т. 2(4). — с. 178-185.
10. Андреева Е.С. Загрязнение атмосферного воздуха как один из факторов неканцерогенного риска здоровью населения города Ростова-на-Дону / Е.С. Андреева, П.В. Климов, К.С. Штенске // Geography and Natural Resources. — 2021. — Т. 42. — 1. — с. 32-36.
11. Andreeva E.S. Ensuring the environmental safety of large cities based on an innovative approach to predicting atmospheric air pollution / E.S. Andreeva, I.N. Lipovitskaya, E.O. Lazareva et al. / IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. — 2021. — 852(2021). — p. 012007.
12. Андреева Е.С. Применение метода «дерева принятия решений» для прогнозирования уровня загрязнения атмосферного воздуха г. Санкт-Петербург / Е.С. Андреева, Е.О. Лазарева, И.Н. Липовицкая // Вестник Московского государственного университета. Серия 5. География. — 2019. — 2. — с. 55-60.
13. Состояние онкологической помощи населения России в 2021 году / Под ред. А.Д. Каприна, В.В. Старинского, А.О. Шахзадовой. — М.: МНИОИ им. А.П. Герцена, 2022. — 239 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Voejkova A.V. Problema kosmicheskogo musora [The Space Debris Problem] / A.V. Voejkova, E.A. Shushkanova // Aktual'nye problemy kosmonavтики i aviacii [Current Problems of Cosmonautics and Aviation]. — 2014. — 10. — p. 61-62. [in Russian]
2. Kljushnikov V.Ju. Kak ochistit' okolozemnoe kosmicheskoe prostranstvo ot kosmicheskogo musora [How to Clear Outer Space from Space Debris] / V.Ju. Kljushnikov // Vozdushno-kosmicheskaja sfera [The Aerospace Field]. — 2019. — 1(98). — p. 96-107. [in Russian]
3. Vlasov M.N. Jekologicheskaja opasnost' kosmicheskoy dejatel'nosti [Environmental Hazards of Space Activities] / M.N. Vlasov, S.V. Krichevskij. — M: Nauka, 1999. — 240 p. [in Russian]
4. Meshkov N.A. Metodicheskie osnovy ocenki vlijanija posledstvij raketno-kosmicheskoy dejatel'nosti na zdorov'e naselenija, prozhivajushhego vblizi rajonov padenija otdel'ajushhihsja chastej raket-nositelej [Methodological Basis for Evaluating the Impact of Rocket and Space Activities on the Health of the Population Living Near the Falling Places of Separating Parts of Launch Vehicles] / N.A. Meshkov // Medline. — 2009. — 10. — p. 58-80. [in Russian]
5. Skrebcova N.V. Mediko-jekologicheskoe obosnovanie monitoringa zdorov'ja na territorijah vlijanija raketno-kosmicheskoy dejatel'nosti [Medical and Ecological Substantiation of Health Monitoring in the Territories Affected by Rocket and Space Activities]: autoabst. dis. ... of PhD in Medicine: 03.00.16, 03.00.13 / Skrebcova Nina Valentinovna. — Northern State Medical University, Arkhangelsk, 2006. — 48 p. [in Russian]
6. Metodika ocenki sostojanija jekologicheskoy obstanovki na poligone (kosmodrome), v rajonah padenija otdel'ajushhihsja chastej raket-nositelej i na sopredel'nyh territorijah [Methodology for Environmental Situation Assessment at the Range (Cosmodrome), in the Areas of Separating Rocket Parts Landing and Adjacent Territories]. — М., 1998. — 11 p. [in Russian]
7. Identifikacija faktorov riska v regionah raspolozhenija rajonov padenija otdel'ajushhihsja chastej raket-nositelej i ocenka sostojanija zdorov'ja naselenija, prozhivajushhego vblizi zon vlijanija raketno-kosmicheskoy dejatel'nosti [Identification of Risk Factors in Regions of Falling Rocket Detachment Areas and Health Assessment of Population Living Near Rocket-Space Impact Areas]. — М.: А.Н. Sysin Research Institute of HE and EG RAMS, 2008. — 24 p. [in Russian]
8. Rukovodstvo po ocenke riska dlja zdorov'ja naselenija pri vozdejstvii himicheskikh faktorov, zagrjaznjajushhih okruzhajushhuju sredu (R. 2.1.10.1920-04) [Guidelines for Public Health Risk Assessment of Chemical Contaminants in the Environment (R. 2.1.10.1920-04)]. — М.: Federal Center for State Sanitary and Epidemiological Surveillance of the Ministry of Health of Russia. — 143 p. [in Russian]
9. Tomilin N.V. Genotoksicheskoe i citotoksicheskoe dejstvie nesimmetrichnogo dimetilgidrazina pri ostrom i subhronicheskom vvedenii [Genotoxic and Cytotoxic Effects of Unsymmetrical Dimethylhydrazine in Acute and Subchronic

Administration] / N.V. Tomilin, O.A. Fil'ko, A.V. Hrabrova et al. // *Sovremennye voprosy biomeditsiny* [Current Issues of Biomedicine]. — 2018. — Vol. 2(4). — p. 178-185. [in Russian]

10. Andreeva E.S. Zagryaznenie atmosfernogo vozduha kak odin iz faktorov nekancerogenogo riska zdorov'ju naselenija goroda Rostova-na-Donu [Atmospheric Air Pollution as a Factor of Non-Carcinogenic Health Risk in Rostov-on-Don] / E.S. Andreeva, P.V. Klimov, K.S. Shtenske // *Geography and Natural Resources*. — 2021. — Vol. 42. — 1. — p. 32-36. [in Russian]

11. Andreeva E.S. Ensuring the environmental safety of large cities based on an innovative approach to predicting atmospheric air pollution / E.S. Andreeva, I.N. Lipovitskaya, E.O. Lazareva et al. / *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. — 2021. — 852(2021). — p. 012007.

12. Andreeva E.S. Primenenie metoda «dereva prinjatija reshenij» dlja prognozirovaniya urovnja zagryaznenija atmosfernogo vozduha g. Sankt — Peterburg [Application of the "Decision Tree" Method for Atmospheric Air Pollution Level Forecasting in St. Petersburg] / E.S. Andreeva, E.O. Lazareva, I.N. Lipovickaja // *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta. Serija 5. Geografija* [Bulletin of Moscow State University. Series 5. Geography]. — 2019. — 2. — p. 55-60. [in Russian]

13. Sostojanie onkologicheskoy pomoshhi naselenija Rossii v 2021 godu [State of Cancer Care in Russia in 2021] / Ed. by A.D. Kaprin, V.V. Starinsky, A.O. Shahzadova. — M.: A.P. Herzen Moscow Scientific Research Institute, 2022. — 239 p. [in Russian]