



ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ КОСМИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

И. Ф. Крестников

В статье рассматриваются особенности космической деятельности как фактора формирования экологической ситуации. Приводятся результаты эмпирических исследований. Освещаются некоторые проблемы формирования общественного мнения по социально-экологическим последствиям космической деятельности.

Ключевые слова: экологический фактор, космическая деятельность, общественное мнение

Общеизвестно, что современная экологическая ситуация в мире характеризуется такими особенностями, как:

- возросшими масштабами и силой воздействия на природную среду,
- появлением новых форм и видов этого воздействия,
- распространением деятельности человека на природные среды, которые ранее для него были недоступны.

При этом важнейшим фактором усиления воздействия человека на окружающую среду являются развитие науки и технический прогресс. Однако техника и технологии по сути являются нейтральными по отношению к природе. Лишь конкретика их применения вызывает различные по направленности и содержанию экологические последствия [1].

Одним из значимых современных источников воздействия на окружающую среду является космическая деятельность, объективно необходимая для достижения множества важнейших целей практически во всех сферах жизнедеятельности общества. Сегодня она самым непосредственным образом определяет качество жизни граждан развитых стран, в том числе и Российской Федерации (табл.1).

Как видно из вышеприведенной таблицы, космическая деятельность реализует в частности одну из приоритетных задач общенационального уровня – обеспечение безопасности. Сегодня россияне (как показывают результаты социологических исследования) всё еще ощущают себя гражданами великой державы в значительной степени потому, что наша страна обладает как средствами ядерного сдерживания, так и эффективными космическими системами контроля. Жизненно необходимыми являются также и другие направления космической деятельности. Перечисленные области применения космической техники являются неотъемлемыми атрибутами производственной и социальной инфраструктуры современного общества и возможный ущерб от их деградации по сути не поддается никакой стоимостной оценке.

В то же время, несмотря на значительный позитивный вклад в развитие человечества, космическая деятельность сопровождается нарастанием экологической опасности для людей и природы. Именно поэтому в настоящее время широко распространилось мнение о том, что вследствие активной космической деятельности нанесен заметный ущерб окружающей среде в районах космодромов, ракетных полигонов, а также околоземному космическому пространству (ОКП). А это значит, что в массовом сознании уже сформирован не вполне объективный взгляд на масштабы и формы экологического ущерба от воздействия ракетно-космической техники (РКТ) [2].

Таблица 1. Значение космической деятельности в жизни общества

<i>Направления космической деятельности</i>	<i>Решаемые задачи</i>
Оборона и безопасность	Управление
	Предупреждение о ракетном нападении
	Контроль за соблюдением международных договоров
	Оперативный контроль кризисных районов Земли
	Навигация
	Мониторинг и предупреждение чрезвычайных ситуаций
Телекоммуникации	Связь, телевидение, Internet
Наука, техника и технологии	Исследование Земли (дистанционное зондирование)
	Исследование космоса, околоземного космического пространства
	Исследование влияния факторов космического пространства на человека и биоту
	Исследование влияния факторов космического пространства на конструкционные материалы и образцы космической техники
	Испытания образцов новой космической техники
	Эксперименты по получению материалов с новыми свойствами

При этом экологические последствия ракетно-космической деятельности (РКД) могут быть весьма актуальными для населения целых регионов. Так, по данным Роскосмоса, в последние десятилетия в нашей стране для обеспечения запусков ракетной техники используются более 110 земельных участков общей площадью примерно 20 млн. га, причем места падения фрагментов ракетной техники в этих районах неизбежно загрязнены компонентами топлива, в том числе и высокотоксичными. Однако следует отметить, что зачастую величина экологического ущерба от космической деятельности преувеличивается из конъюнктурных соображений [3]. Например, общая площадь, занимаемая девятью районами падения (РП) отделяемых частей ракет-носителей (ОЧ РН) на территории Архангельской области составляет примерно 1,53 млн га. По данным Комитета природных ресурсов Архангельской области [4] в РП ОЧ на 1 января 2001 года в результате деятельности космодрома Плесецк в районах падения находилось 18 тыс.т металлолома, 744 т азотного тетраоксида (АТ, вещество 2-го класса опасности), 340 т несимметричного диметилгидразина (НДМГ, вещество 1-го класса опасности). При этом НДМГ загрязнено 151 га, углеводородным горючим – 228 га. Ставя под сомнение тот факт, что такое легколетучее вещество как АТ в количестве 744 т до сих пор может находиться в местах падения ОЧ, следует обратить внимание, что НДМГ загрязнено только $1 \cdot 10^{-3}\%$ общей площади выделенных РП. И это после 1600 пусков! Вывоз же металлоконструкций из РП осуществляется организованно уже более 25 лет. Однако всё это не означает, что проблема очистки РП ОЧ и мониторинга природной среды в этих районах полностью отсутствует.

Безусловно, что процессам эксплуатации существующих и вновь разрабатываемых космических изделий и комплексов объективно присущи негативное экологическое воздействие на окружающую среду и риски экологических аварий, обусловленные возможностью возникновения происшествий на космической технике и наносящие ущерб окружающей среде. При этом источники возникновения и характер проявления опасностей экологических рисков, связанных с функционированием объектов наземной инфраструктуры и запусками ракет-носителей, практически не зависят от типа космического ракетного комплекса (КРК), а риск причинения ущерба окружающей среде распространяется на все ее компоненты: воздух, воду, почву, различные слои атмосферы и даже на ОКП.

Понятно, что, несмотря на несомненную специфику, космическая отрасль должна быть экологически безопасной. Экологическая безопасность – одна из стратегических задач любого государства. Усиливающееся в последнее время техногенное воздействие на окружающую среду ставит вопросы экологической безопасности по их важности в один ряд с вопросами политической и экономической стабильности.

Начнём со статистики космических запусков в мире (табл. 2). Несмотря на общий рост

надежности РКТ в целом, полностью исключить возникновение аварийных и нештатных ситуаций при её эксплуатации в обозримом будущем, по-видимому, не удастся.

Таблица 2. Сводная статистика космических запусков в мире с 1957 по 2014 г. (по материалам Gunter's Space Page (<http://space.skyrocket.de/index.html>), журналов «Новости космонавтики», «AviationWeek» и др.)

<i>Страна</i>	<i>Число запусков</i>	<i>Число аварийных запусков</i>	<i>Доля аварийных запусков, %</i>
Россия	3214	161	5,0
США	1597	132	8,3
Европа	244	16	6,6
Китай	216	11	5,1
Япония	97	10	10,3
Индия	44	7	15,9
Израиль	9	2	22,2
Иран	4	1	25,0
КНДР	4	3	75,0
Ю.Корея	3	2	66,7
Бразилия	2	2	100
Всего	5424	347	6,4

Основная опасность с точки зрения воздействия ракетно-космической техники на окружающую среду заключается в том, что в двигательных установках ракет-носителей, разгонных блоков и космических аппаратов наряду с нетоксичными или малотоксичными применяются высокотоксичные компоненты ракетного топлива (КРТ) - НДМГ и АТ, привлекательных для разработчиков космической техники тем, что в отличие от малотоксичных криогенных КРТ данные токсичные КРТ являются самовоспламеняющимися и не теряют физических свойств при длительном хранении. При этом, разумеется, изделия РКТ, использующие токсичные КРТ неоднократно проходили Государственную экологическую экспертизу (ГЭЭ) и были допущены к эксплуатации [5], в том числе космический аппарат МЛМ (многоцелевой лабораторный модуль Международной космической станции) [6] (рис.1). Следует иметь в виду, что МЛМ является пилотируемым космическим объектом.

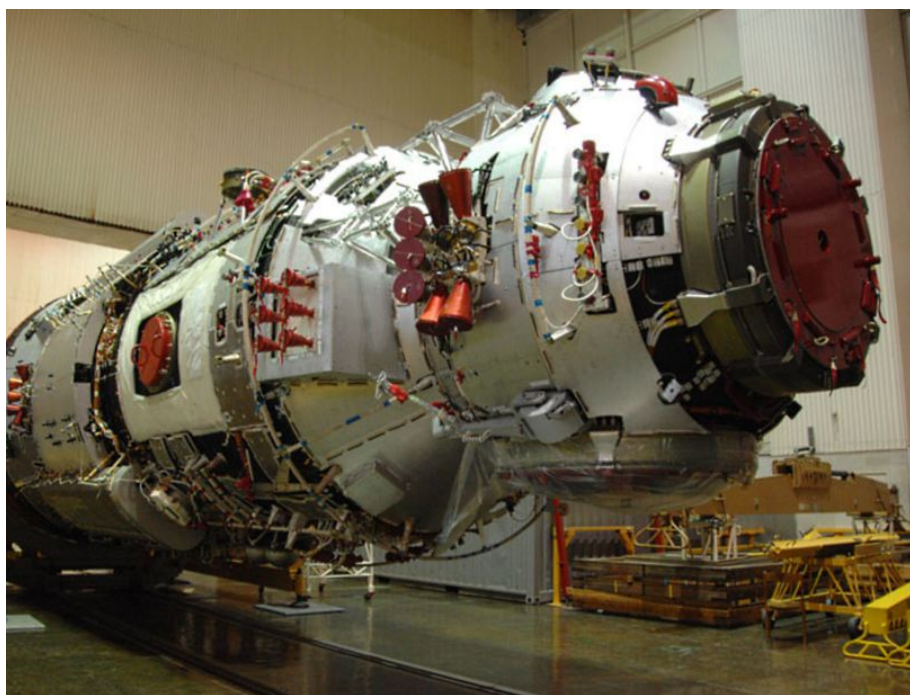


Рис. 1. Общий вид многоцелевого лабораторного модуля Международной космической станции
Отдельно следует подчеркнуть, что именно самые токсичные КРТ, т.е. АТ и НДМГ, имеют

относительно самую малую долю экологически активных продуктов сгорания (табл. 3).

Таблица 3. Доля токсичных и нетоксичных продуктов сгорания ракетных топлив (в % от массы выхлопа)

Продукты сгорания		Компоненты топлива		
		жидкие		твердые
		АТ+НДМГ	O ₂ +керосин	
Не токсичные	H ₂	1,49	0,57	2,93
	H ₂ O	28,01	28,60	3,67
	N ₂	34,92	-	7,96
	CO ₂	32,75	46,5	1,2
	C	0,93	0,09	-
	NH ₃	0,02	-	-
	CH ₄	0,1	-	-
	Прочие	0,1	0,1	6,0
	Итого	97,32	75,89	21,91
Токсичные	CO	2,68	24,11	29,5
	HCl	-	-	20,42
	Al ₂ O ₃	-	-	28,17
	Итого	2,68	24,11	78,09

Также целесообразно рассмотреть вклад ракетно-космической деятельности в общее воздействие на атмосферу Земли. Годовой техногенный выброс токсичных продуктов в мире приведён в табл. 4. Из данных таблицы в частности видно, что доля РКТ составляет лишь ~0,1% выбросов авиационной техники.

Таблица 4. Годовой техногенный выброс токсичных продуктов в мире

Источник выбросов	Количество выбросов, в тоннах
Общий мировой уровень	1 000 000 000
Автомобили	400 000 000
Самолеты	10 000 000
Ракеты-носители	10 000 (~0,1% выбросов самолетов)

Известно, что самой чувствительной к воздействию составляющей верхней атмосферы является озоновый слой [7]. До настоящего времени вклад РКТ в разрушение озоносферы оценивается только теоретически, без проведения каких-либо целевых измерений из космоса или с поверхности Земли. Дело в том, что при теоретической оценке количества озона, разрушаемого при запусках РН, необходимо рассматривать очень сложный процесс взаимодействия продуктов сгорания КРТ с компонентами атмосферы, во время которого одновременно протекают газодинамические, химические (гомогенные и гетерогенные), а также фотохимические процессы, описываемые сложными математическими моделями. Вклад различных каталитических циклов в разрушение озона приведён в табл. 5.

Поэтому теоретические оценки, полученные при различных упрощениях и допущениях, несколько отличаются. Из результатов теоретических исследований видно, что:

- во первых, отдельные пуски даже таких мощных изделий РКТ, как российская РН «Энергия» или американский комплекс «Спейс Шаттл», оказывают лишь локальное и сравнительно кратковременное воздействие на стратосферный озон;
- во вторых, даже при повышенной интенсивности пусков (ежемесячные пуски в течение 4-х лет) глобальное снижение общего содержания озона мало и составляет 0,2-0,3 % [8].

Таблица 5. Вклад различных каталитических атмосферных циклов в разрушение озона

Компонент	Вклад в процесс разрушения, %		
	Все источники		Ракетные двигатели
	Вся стратосфера	Слой 25-30 км	
Окислы азота	32	70	0,00005
Кислород	23	10	0
Водород / гидроксил	26	10	0,0012
Хлор	19	10	0,032
Всего:	100	100	0,034

Как видно из табл. 6 [9] наибольшее влияние на озон при запусках РН оказывают хлорные компоненты, содержащиеся в продуктах сгорания твердых КРТ, и в меньшей степени – окислы азота и водородные компоненты.

В фоновых условиях основными источниками хлора на стратосферных высотах являются:

- фотодиссоциация хлористого метила, образующегося при разложении или сгорании биологических продуктов, преимущественно морского происхождения;
- фотохимическое разрушение хлорфторуглеводородов (фреонов, хладонов);
- выбросы вулканов.

Таблица 6. Ежегодные выбросы (в килотоннах) озоноразрушающих компонентов в стратосферу

Источник	Хлор	Вода	Водород	Окислы азота
Промышленность	300	-	-	-
Вулканы	100-1000	-	-	-
Естественный фон	75	1500	340	280
Ракетная техника (например 9 «Шаттлов» и 6 «Титанов»)	0,79	3,25	0,2	0,016

Как видно из таблицы 6 самым значительным источником хлора являются извержения вулканов. Во время крупных вулканических извержений в стратосферу может поступать большое количество хлористого водорода, содержащегося в вулканических газах. По имеющимся оценкам [10] ежегодный выброс хлористого водорода из вулканов составляет 0,4-11,0 Мт. Приблизительно 10 % этих газов выделяются при извержениях взрывного типа, выбросы которых достигают стратосферы. Этот источник хлора очень изменчив и может достигать 3 Мт для сильного извержения. Так, во время извержения вулкана Агунг в марте 1963 г. в стратосферу, согласно оценкам, попало около 1,2 Мт хлористого водорода [11].

Таблица 7. Общая площадь поверхности аэрозольных частиц в стратосфере в фоновых условиях, при извержении вулкана и воздействии РКТ и их влияние на озон

Характеристики	Вулкан Эль-Чичон	Естественный фон	РКТ: 9 «Шаттлов» и 6 «Титанов»
Общая площадь поверхности, мкм ² /см ³	17500000	540000	763
Степень разрушения озона, %	10-17	0,5-2,0	0,0004-0,0007

Другим компонентом твердых и жидких КРТ и продуктов их сгорания, оказывающим значительное влияние на озон, являются окислы азота. В естественных условиях основным источником окислов азота является окисление N₂O (закись азота) возбужденными атомами кислорода

в стратосфере. Этот процесс служит источником окислов азота не только в стратосфере, но и в средней и верхней тропосфере. Интенсивность его составляет в Северном полушарии 100-300 кт в год [12]. Наземные и антропогенные источники окислов азота имеют существенно большую интенсивность 10-20 Мт в год; из них 10 Мт производит биосфера суши, с максимумом в средних и субтропических широтах; 2–4 Мт создается молниевыми разрядами при грозах. Из-за быстрого вымывания окислов азота в слое облаков и осадков изменение интенсивности этих источников мало отражается на глобальном среднем содержании окислов азота в средней и верхней тропосфере.

Значительным антропогенным источником окислов азота в стратосфере являются выбросы окислов азота реактивными двигателями самолетов. В двигателях наиболее распространенных дозвуковых самолетов в крейсерском режиме образуется около 6 г двуокиси азота на 1 кг израсходованного топлива. В двигателях широкофюзеляжных самолетов – 16 г на кг. Наибольшее количество (18 г на кг) образуется в двигателях сверхзвуковых транспортных самолетов первого поколения. Согласно [13] около 50 % общего содержания окислов азота в верхней тропосфере и нижней стратосфере нижних широт Северного полушария является результатом выбросов реактивных двигателей самолетов. Если сопоставить эти данные с ежегодными выбросами окислов азота в стратосферу от естественных источников и в результате запусков твердотопливных ракет, то очевидно, что вклад РКТ в разрушение озона за счет выбросов этого компонента крайне незначителен (табл. 6).

Ещё одним источником разрушения озона при запусках твердотопливных ракет могут быть аэрозольные частицы Al_2O_3 и кристаллики воды. Например при каждом запуске американских РН «Титан-4» на высоты 15–60 км выбрасывалось до 68 т Al_2O_3 , а при запуске «Шаттла» - 110 т. [14]. Сопоставим эти данные с содержанием аэрозолей в фоновых условиях, с выбросами при извержениях вулканов и при полетах сверхзвуковых самолетов. В обычных условиях в глобальной стратосфере до высоты 30 км содержится 0,2-1 Мт субмикронных аэрозольных частиц, в основном в виде капель серной кислоты. Мощные извержения вулканов забрасывают в нижнюю стратосферу большое количество таких частиц. Так в результате извержения вулкана Эль-Чичон в марте-апреле 1982 г. на высоту 30 км было выброшено более 20 Мт мелкодисперсного аэрозоля, содержащего 18 % Al_2O_3 , а также сернистые газы. Более того, поскольку большая часть измеренных частиц имела несферическую форму, а в результате сгорания твердого ракетного топлива в атмосферу выбрасываются сферические частицы, скорее всего они являются продуктами абляции КА и фрагментов ступеней РН при входе в плотные слои атмосферы.

Проведенные сравнительные расчеты [14] с другим антропогенным источником – сверхзвуковыми самолетами показывают, что при прочих одинаковых условиях от воздействия авиационной техники возможно уменьшение общего содержания озона на 1-1,33 %. Такое же уменьшение озона может иметь место в результате увеличения интенсивности запусков ракет в 30 раз по сравнению с существующей в настоящее время [7].

Представленные выше данные не дают оснований утверждать в настоящее время о каком-либо существенном вкладе РКТ в разрушение (воздействием запусков РН и при сходе с орбиты КА и фрагментов РН) озонового слоя Земли в глобальных масштабах.

В заключение несколько слов о соотношении требований по обеспечению экологической безопасности и необходимости технологического развития. Абсолютно экологически безопасных технологий не существует. Любое воздействие человека на окружающую среду имеет негативные последствия. Даже такие традиционные виды антропогенной деятельности как земледелие и животноводство имеют отрицательные последствия для поддержания экологического равновесия: из системы биотической регуляции планеты изымается биомасса агрокультур. Человек своим стремлением получить максимально возможный урожай мешает процессам регулирования выделения/поглощения кислорода, поддержания температурно-влажностного режима и т. д. А сколько метана выделяют коровы, овцы, свиньи и др.! А отходы птицеводства хуже любого яда.

Таким образом, если уж наша цивилизация встала на путь технологического развития, то необходимо отдавать себе в этом отчет. И нашей задачей является поиск компромисса между уровнем экологической безопасности какой-либо технологии и социально-экономической выгодой от ее внедрения. А требования некоторых общественных экологических движений об обеспечении абсолютной экологической безопасности на деле являются экологическим луддизмом и, как это ни парадоксально, - в перспективе могут привести к гибели цивилизации.

Литература

1. Wilenius M. Sociology, modernity and the globalization of environmental change // *International sociology*. – L., 1999, - Vol.14, №1. – P.33-57.
2. Сосунова И.А., Мамонов Н.Е., Крестникова С.И. Российская космонавтика: социальная отдача и социально-экологические проблемы в зеркале общественного мнения. – М.: РЭФИА, 2004.
3. Крестников И.Ф., Крестникова С.И. «Космонавтика и новое качество жизни. Экологические аспекты»// IV Всероссийская научно-практическая конференция - Качество жизни: Государственное регулирование и социальное партнерство (сборник докладов)//ВНИИГЭ, М., 2004. с.98-105.
4. Попов И.Н. Экологическая ситуация в районах падения отделяющихся частей ракет-носителей, расположенных на территории Архангельской области // *Двойные технологии*. – 2001. – №3 – с.21-22.
5. Заключение экспертной комиссии Государственной экологической экспертизы проектных материалов «Космический ракетный комплекс «Протон-М» и космический разгонный блок «Бриз-М» от 11.07.02г. // Утв. Приказом Минприроды РФ от 22.07.2002 г. №460.
6. Заключение экспертной комиссии Государственной экологической экспертизы проекта технической документации по космическому комплексу МЛМ от 19.06.09 г. // Утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 23.06.09 г. №550.
7. Макдональд А.Дж., Беннет Р.Р., Хиншоу Дж.К., Барнс М.У. Ракеты с двигателями на химическом топливе: влияние на окружающую среду // *Аэрокосмическая техника*. 1991. №9. с. 96-101.
8. Деминов И.Г., Еланский Н.Ф., Озолин Ю.Э., Петухов В.К. Оценка воздействия регулярных пусков ракет «Энергия» и «Шаттл» на озоновый слой и климат Земли: Препринт № 1. – М.: ИФА РАН, 1992.
9. McDonald A.J. Impact and mitigation of stratospheric ozone depletion by chemical rockets // *AIAA Paper 92-1003. Proc. AIAA Space Programs and Technologies Conference. March 24-27. 1992. Huntsville. Al.*
10. Pollack J.B., Toon O.B., Summers A. et. al. Estimatonс of the climatic impact of aerosols produced by Space Shuttles, SST`s and other high flying aircraft // *J.Applied Meteorilogy*. 1976. V.15. № 3. P.247.
11. Александров Э.Л., Израэль Ю.А., Кароль И.Л., Хргиан А.Х. Озоновый щит Земли и его изменения. СПб.: Гидрометеоиздат, 1992.
12. Кароль И.Л. О возможных антропогенных изменениях газового состава и температуры атмосферы до 2000г. // *Метеорология и гидрология*. 1986. № 4 с.115.
13. Ehhalt D.H., Rohrer F., Wahner A. Sources and distribution of NOx in the upper troposphere at northern mid-latitudes // *J.Geophys. Res.* 1992. V.97. P.3725.
14. Экологические проблемы и риски воздействий ракетно-космической техники на окружающую природную среду. Справочное пособие / Под общей ред. В.В. Адушкина, С.И. Козлова, А.В. Петрова. – М.: Анкил, 2000.
15. Макдональд А.Дж., Беннет Р.Р., Хиншоу Дж.К., Барнс М.У. Ракеты с двигателями на химическом топливе: влияние на окружающую среду // *Аэрокосмическая техника*. 1991.

ECOLOGICAL ASPECTS OF ASTRONAUTIC ACTIVITY

I. F. Krestnikov

The present study examined peculiarities of astronautic activity as a factor of ecological situation's formation. Results of empirical research are presented. Issues of public opinion formation related to socio-ecological consequences of astronautic activity are highlighted.

KEYWORDS: ECOLOGICAL FACTOR; ASTRONAUTIC, PUBLIC OPINION.