



# ОТХОДЫ КОСМИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА ЗЕМЛЕ И В КОСМОСЕ

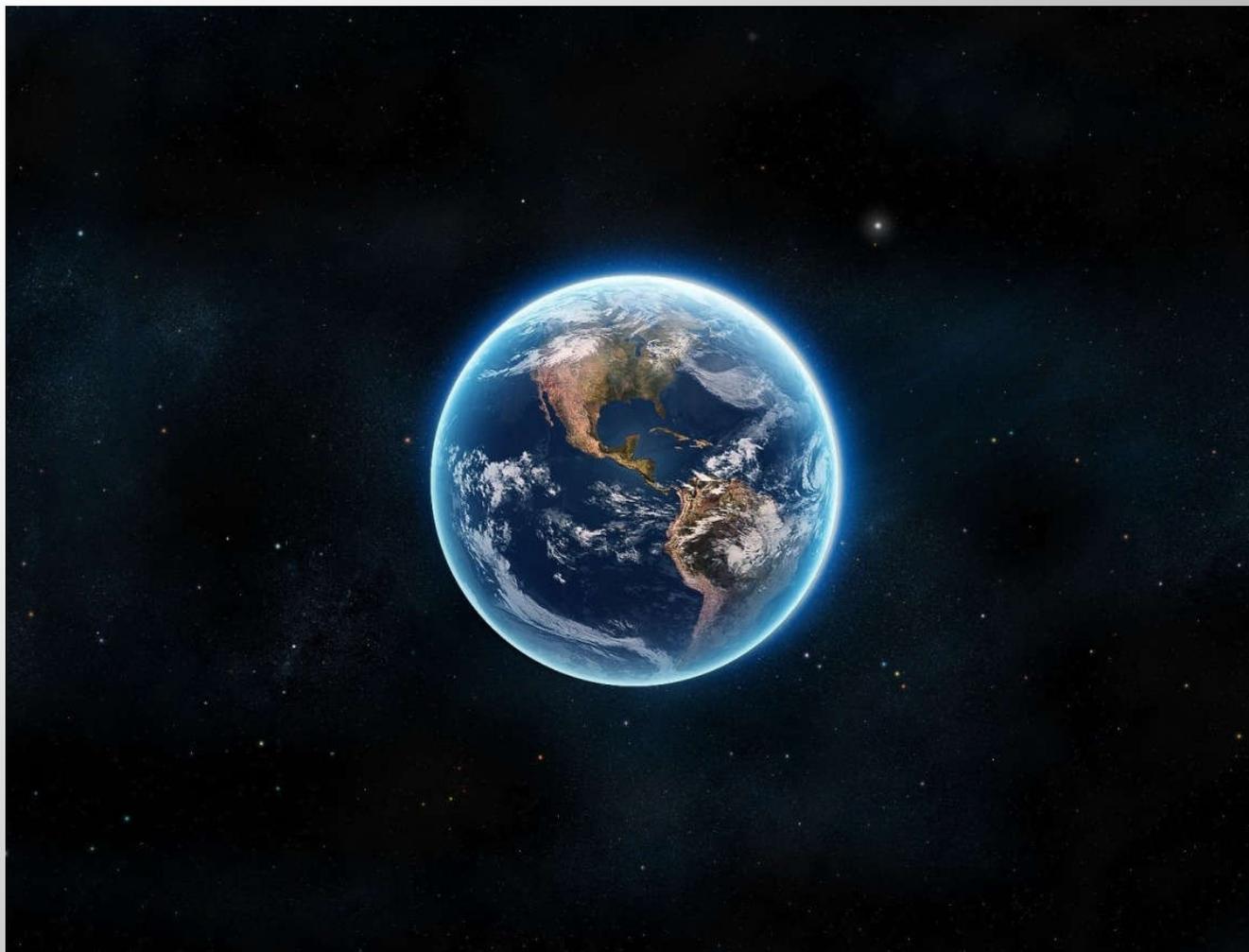
## Лекция

**Кричевский Сергей Владимирович**

кандидат технических наук, доктор философских наук, профессор,  
и.о. главного научного сотрудника ИИЕТ им. С.И. Вавилова РАН, Москва  
E-mail: [svkrich@mail.ru](mailto:svkrich@mail.ru)

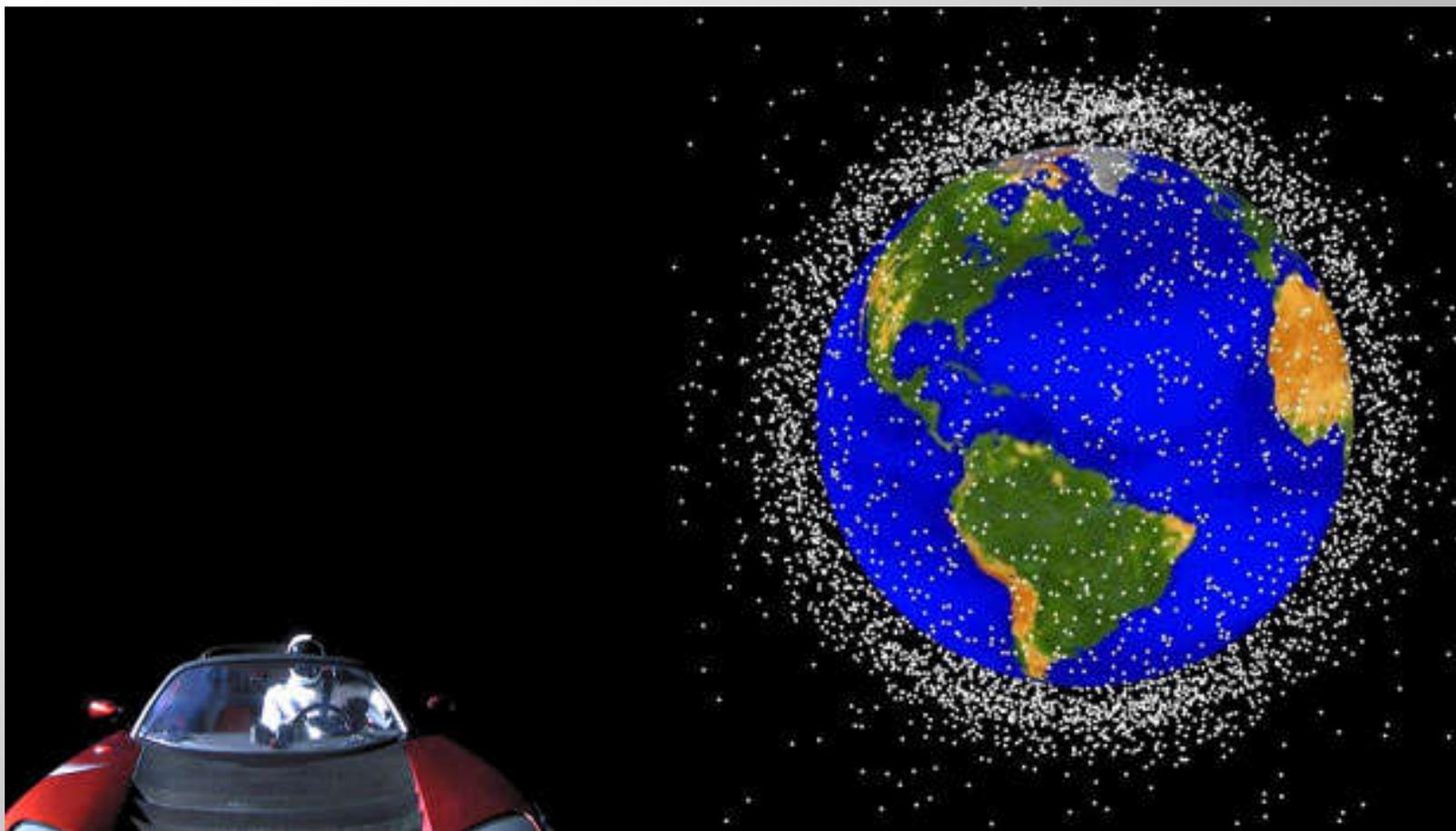
**Программа «Проблемы управления отходами»  
Москва, МГУ имени М.В. Ломоносова, 28 марта 2018 г.**

*(С) Кричевский С.В., 2018.*



**А. Образ Земли и Космоса до Космической эры (до 4 октября 1957 г.)**

[<https://img1.goodfon.com/original/1152x864/c/d3/zemlya-kosmos-planeta-5772.jpg>]



**Б. Образ Земли и Космоса + 60 лет после начала Космической эры (2018)**

[<https://img1.goodfon.com/original/1152x864/c/d3/zemlya-kosmos-planeta-5772.jpg>]



## СОДЕРЖАНИЕ

Введение

1. Основные понятия, определения, «правила игры»
2. Отходы КД: история, проблемы, перспективы.
  - 2.1. Исторические аспекты начала КД и причины недооценки экологических аспектов
  - 2.2. Начало систематического изучения воздействий КД на окружающую среду и проблемы отходов КД
  - 2.3. Причины и примеры образования отходов КД в общей системе воздействий и последствий РКТ и КД.
  - 2.4. Классификация воздействий РКТ на ОС, образование отходов КД, их токсичность и др.
3. Управление отходами КД
  - 3.1. Особенности и недостатки существующей системы, необходимость ее совершенствования на основе новых знаний, «правил игры» и технологий
  - 3.2. Персоналии, их идеи и проекты (примеры)
  - 3.3. Новые и перспективные экологичные (чистые, зелёные) космические технологии и проекты (примеры)

Заключение. Выводы и рекомендации

Контрольные вопросы

Литература и источники

## ВВЕДЕНИЕ

*Космическая деятельность (КД)* – важная и высокотехнологичная сфера деятельности России и мирового сообщества.

Вместе с достижениями и результатами КД существует ряд проблем, которые необходимо знать и решать для повышения эффективности КД, обеспечения экобезопасности, сохранения окружающей среды.

*Проблема отходов КД* на Земле и в Космосе является актуальной, сложной и глобальной, это обратная сторона «космической медали». Удельный вес отходов КД сравнительно мал (значительно менее 1%) в общей массе всех отходов в России и мире.

*Но отходы КД обладают рядом особых свойств, которые порождают локальные и глобальные проблемы и последствия для нашей страны и всего мирового сообщества.*

Без знания, понимания, учета и решения проблемы отходов КД невозможно эффективное развитие и обеспечение безопасности всей сферы КД, переход к устойчивому развитию и глобальному будущему.

Существуют национальные (в России и др. странах) и международные (под эгидой ООН) «правила игры» для КД.

Однако они явно устарели и несовершенны для регулирования отношений по вопросам экобезопасности и охраны окружающей среды, в т.ч. по аспектам отходов КД на Земле и в Космосе.

В ООН есть Комитет по космосу, в котором существует Рабочая группа по космическому мусору, в их работе активно участвует и Россия [25].

Глубинной причиной проблемы отходов КД является технологическое отставание космической техники и всей сферы КД в России и мире в решении накопившихся и новых экопроблем, обеспечения экобезопасности и охраны окружающей среды.

В 2017 г. в Год экологии в России была принята новая «Стратегия экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года» (утверждена Указом Президента России №176 от 19 апреля 2017 г.) [4], в ней указаны необходимость решения проблемы отходов, перехода к экологически чистым технологиям.

Это важно для изучения данной темы, и в целом для науки, образования и практики в контексте безопасности, устойчивого развития, сохранения окружающей среды (ОС) в нашей стране.

**Цель лекции - изучить:**

- 1) основные понятия и определения, «правила игры»;
- 2) причины образования отходов КД;
- 3) классификацию и основные характеристики отходов КД;
- 4) проблемы, возможности, перспективы управления отходами КД;
- 5) примеры новых технологий и проектов;
- 6) литературу и источники по теме.

В данной лекции использованы материалы исследований и публикаций автора, а также открытые общедоступные источники.

В разделе 2.4. Классификация воздействий РКТ на ОС, образование отходов КД, их токсичность и др. - в качестве Рис. 28-31 использованы и цитируются материалы публикации [13] и 4 слайда д.т.н. В.Ю. Ключникова, - с его любезного разрешения, за что выражаю ему искреннюю благодарность.

## 1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ, ОПРЕДЕЛЕНИЯ, «ПРАВИЛА ИГРЫ»

*Космическая деятельность* – «любая деятельность, связанная с непосредственным проведением работ по исследованию и использованию космического пространства, включая Луну и другие небесные тела» (ФЗ РФ «О космической деятельности» (1993) [1]).

*Полный жизненный цикл космической деятельности* охватывает весь процесс КД (от разработки, создания космической техники до ее ликвидации и утилизации), всю систему - инфраструктуру КД.

*Отходы космической деятельности* – отходы производства и потребления, образующиеся в процессе КД на ее полном жизненном цикле.

*Управление отходами космической деятельности* – деятельность, направленная на минимизацию отходов КД, их негативных воздействий и последствий.

В соответствии с федеральным законодательством к отходам относят остатки сырья, материалов, полуфабрикатов, иных изделий или продуктов, которые образовались в процессе производства или потребления, а также товары (продукция), утратившие свои потребительские свойства (ФЗ от 24.06.1998 г. № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления» [2]).

Исходя из этого определения к основным отходам КД следует отнести:

- отделяющиеся части (ОЧ) РН и их фрагменты, падающие в отведенные районы падения (РП);
- остатки компонентов ракетного топлива в отработавших ракетных блоках;
- прекратившие активное существование и находящиеся на околоземных орбитах космические аппараты, разгонные блоки, последние ступени ракет-носителей, отделяющиеся технологические фрагменты (бленды, заглушки, осколки пироболтов и т.д.), а также осколки и фрагменты конструкций изделий РКТ, образующиеся в процессе взрывов, столкновений и разрушений орбитальных объектов; отходы РКД, находящиеся на орбите, относят к так называемому «космическому мусору».

ОЧ РН и космический мусор следует отнести к твердым промышленным отходам, а остатки КРТ – к жидким.

Помимо перечисленных видов отходов в процессе КД образуются и другие отходы, которые можно назвать условно неспецифическими (по: Ключников В.Ю. Состояние проблемы изучения воздействия ракетно-космической техники на окружающую среду. СПб, 2014 [13]).

***Чистая технология*** – технология с минимумом негативных воздействий на жизнь и здоровье людей, минимумом загрязнений окружающей среды.

**«Зелёная» технология** – технология с минимумом потребления природных ресурсов и загрязнений окружающей среды.

***Best Available Techniques (BAT)*** - наилучшие доступные технологии (пер. с англ.).

***Наилучшая доступная технология (НДТ)*** - представляет собой технологию производства продукции (товаров), выполнения работ, оказания услуг, определяемая на основе современных достижений науки и техники и наилучшего сочетания критериев достижения целей охраны окружающей среды при условии наличия технической возможности ее применения (ФЗ №7-ФЗ в ред. 21.07.2014 г., Ст. 1 [3]).

Существует сложная коллизия между унаследованными «грязными» («чёрными», «коричневыми») и др. технологиями, НДТ и чистыми, «зелёными» технологиями, в том числе в сфере КД [12, 18, 24].

Общую структуру и процесс эволюции технологий в парадигме экологичности можно представить следующим образом:

*«Унаследованные» технологии >*

*Наилучшие доступные технологии >*

*Чистые, «Зелёные» технологии*

## 2. ОТХОДЫ КД: ИСТОРИЯ, ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ

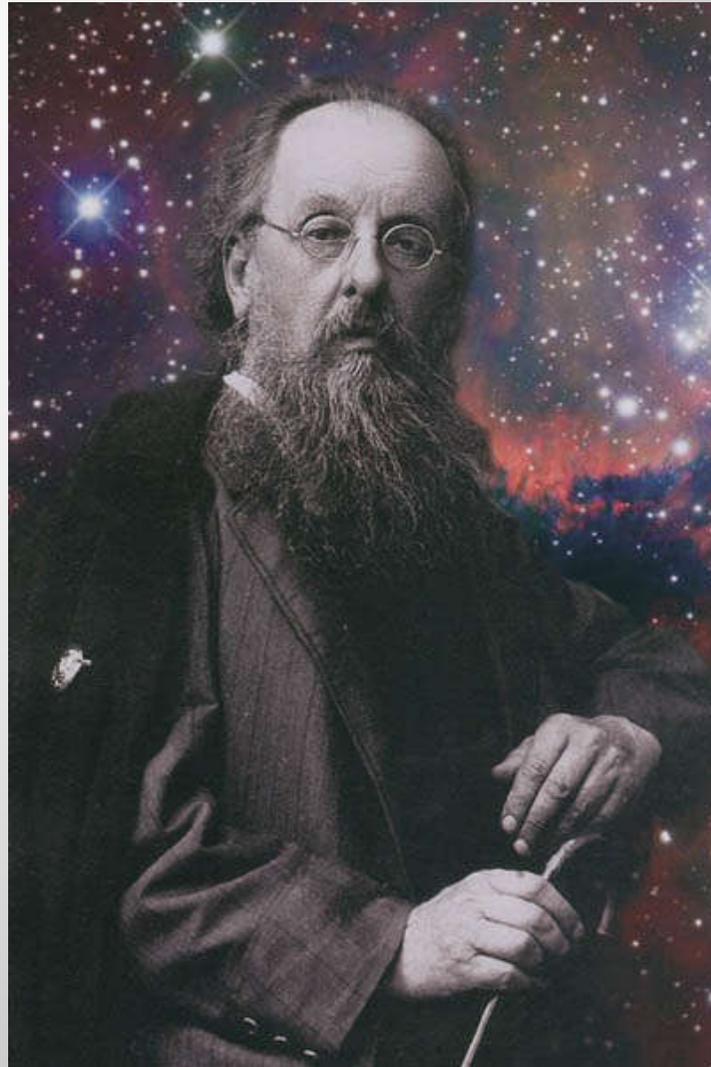
### 2.1. Исторические аспекты начала КД и причины недооценки экологических аспектов

На начальном этапе развития КД экологические аспекты плохо понимались, недостаточно учитывались и прогнозировались. Главной целью было создать технику для полетов в космос.

Основная технология и основная техника для полетов в космос: реактивное движение в аэрокосмическом пространстве и ракета.

В трудах К.Э. Циолковского о ракете (1903 г.) нет речи об экологических проблемах и последствиях. **Рис. 1-3.**

В работах ряда авторов того времени рассматривались вопросы безопасности запусков (пожары, взрывы, разрушения и др.) и соответствующих рисков для персонала.



**Рис. 1. Константин Эдуардович Циолковский (1857-1935).**

<http://top-antropos.com/history/19-century/item/287-konstantin-tsiolkovsky-biografija>

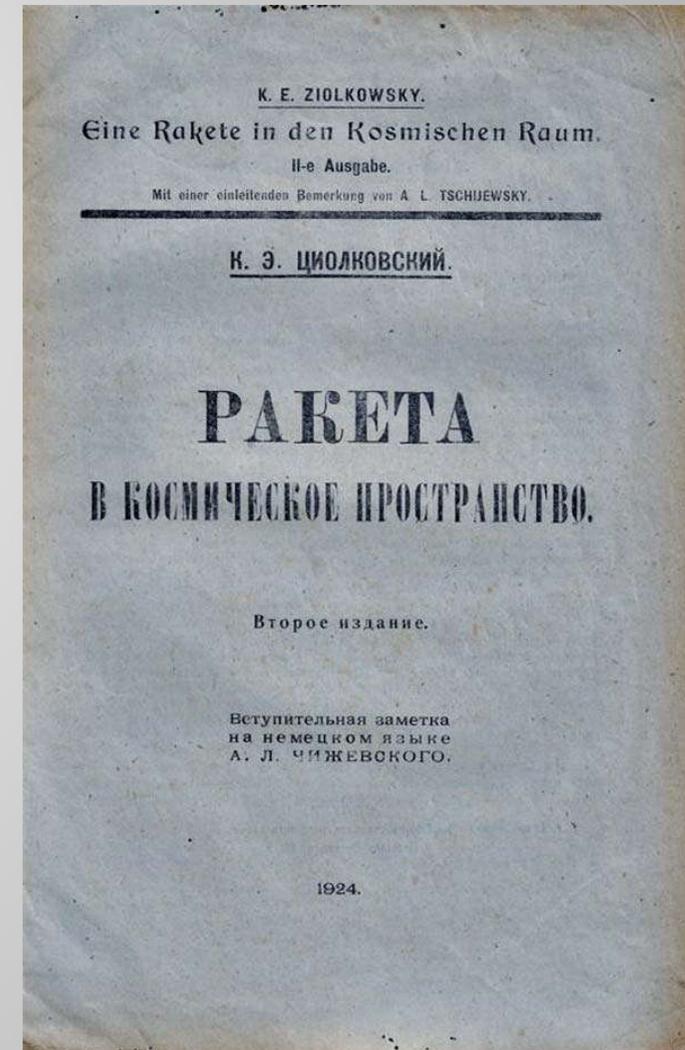
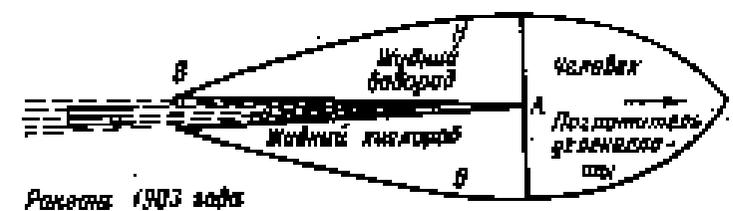
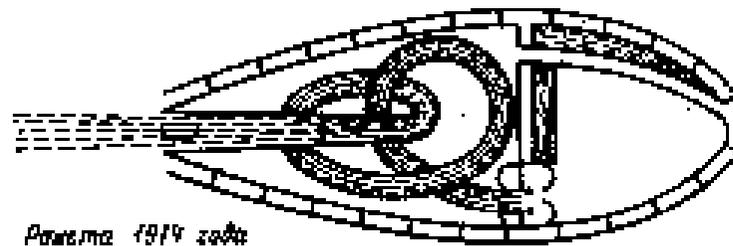
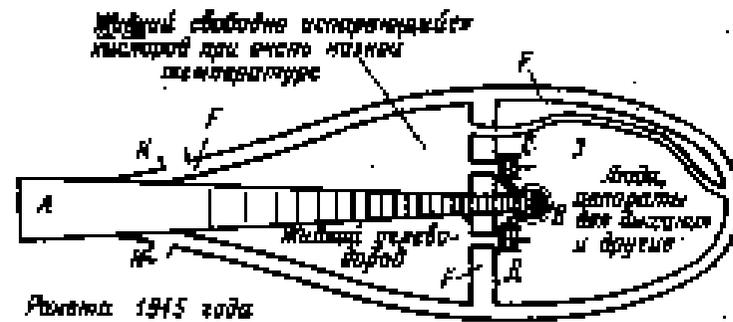


Рис. 2, 3. Схемы ракет К.Э. Циолковского (1903) и 2-е издание его книги «Ракета в космическое пространство» (1924) [5].

В отдельных научных трудах и проектах пионеров космонавтики в начале-середине XX в. есть предварительные прогнозы того, что при массовом развитии ракетно-космической техники возникнет угроза столкновений объектов на околоземных орбитах.

Проблема загрязнений ОС - поверхности Земли, тем более на полном жизненном цикле техники и деятельности, фактически не воспринималась, недооценивалась и не прогнозировалась профессионалами и обществом.

Это объясняется отсутствием опыта КД, состоянием экологической науки, отсутствием экологических «правил игры».

Впервые экологические аспекты всерьез начали обсуждаться при выборе ракетных топлив в конце 50-х гг. XX в. Известно, что С.П. Королев был против применения в ракетах-носителях (РН) в качестве одного из компонентов ракетного топлива сверхтоксичного гептила – несимметричного диметилгидразина (НДМГ).

## 2.2. Начало систематического изучения воздействий КД на окружающую среду и проблемы отходов КД

Систематические исследования воздействий КД на ОС начались с мире в 80-х гг. XX в. В 1988 г. экопроблемы КД и особенно космического мусора, были признаны и начали обсуждаться ООН [11]. См. **Рис. 4**.

В России в начале 1999 г. вышли первые специальные научные издания - монографии по проблемам экобезопасности РКТ и КД (Власов, Кричевский, 1999, - первый в стране и мире Аналитический обзор, – **Рис. 5** [6]; Михайлов В.П., 1999, - причем, он издал первые 2 книги по истории ракетных и космических загрязнений), - см. **Рис. 6 и 7** [7, 8].

В 2000 г. был опубликован первый справочник по экопроблемам РКТ, который написали сотрудники ракетно-космической отрасли, РАН и МО РФ: «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.: Изд-во Анкил, 2000. - 640 с.» [9].



Генеральная Ассамблея

Distr.  
GENERAL

A/AC.105/420  
15 December 1988  
RUSSIAN  
ORIGINAL: ENGLISH

КОМИТЕТ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ КОСМИЧЕСКОГО  
ПРОСТРАНСТВА В МИРНЫХ ЦЕЛЯХ

ВОЗДЕЙСТВИЕ КОСМИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

Доклад, представленный Комитетом по космическим исследованиям  
(КОСПАР) Международного совета научных союзов (МСНС) и  
Международной астронавтической федерацией (МАФ)

Записка Секретариата

Прилагаемый ниже доклад представляется Научно-техническому подкомитету Комитета по использованию космического пространства в мирных целях Комитетом по космическим исследованиям (КОСПАР) Международного совета научных союзов (МСНС) и Международной астронавтической федерацией (МАФ) в ответ на приглашение Комитета.

Это приглашение было сделано на основе рекомендации Рабочей группы полного состава, учрежденной Научно-техническим подкомитетом на своей двадцать четвертой сессии в 1987 году для оценки осуществления рекомендаций Второй Конференции Организации Объединенных Наций по исследованию и использованию космического пространства в мирных целях (ЮНИСПЕЙС-82). Доклад Рабочей группы полного состава (A/AC.105/383 и Согр.1, приложение II), который был принят Научно-техническим подкомитетом, содержал ряд рекомендаций о проведении исследований. Эти рекомендации были утверждены Комитетом по использованию космического пространства в мирных целях 1/ и были впоследствии одобрены Генеральной Ассамблеей в ее резолюции 42/68 от 2 декабря 1987 года.

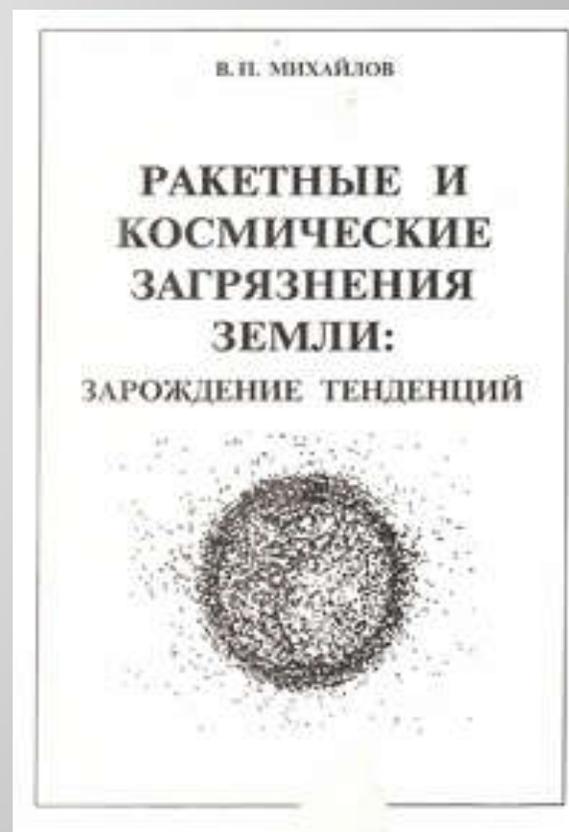
Настоящее исследование было проведено в соответствии с пунктом 13d доклада Рабочей группы полного состава, который гласит следующее:

"Комитету в рамках имеющихся ресурсов, принимая во внимание исследование о воздействии космической деятельности на окружающую среду, подготовленное КОСПАР (A/AC.105/334), следует предложить КОСПАР и МАФ провести последующее исследование о воздействии космической деятельности на окружающую среду, уделяя особое внимание проблеме космического мусора".

Рис. 4. Копия официального документа ООН «Воздействие космической деятельности на окружающую среду» A/AC.105/420 от 15 декабря 1988 г. [11].



**Рис. 5. Обложка книги: «Власов М.Н., Кричевский С.В. Экологическая опасность космической деятельности: Аналитический обзор / Отв. ред. А.В. Яблоков. М.: Наука, 1999. 240 с. : ил.» [6].**



**Рис. 6 и 7. Обложки первых 2-х книг по истории ракетных и космических загрязнений к.т.н., с.н.с. ИИЕТ РАН Владимира Павловича Михайлова (1937-2005), изданных в 1999 г. [7,8].**

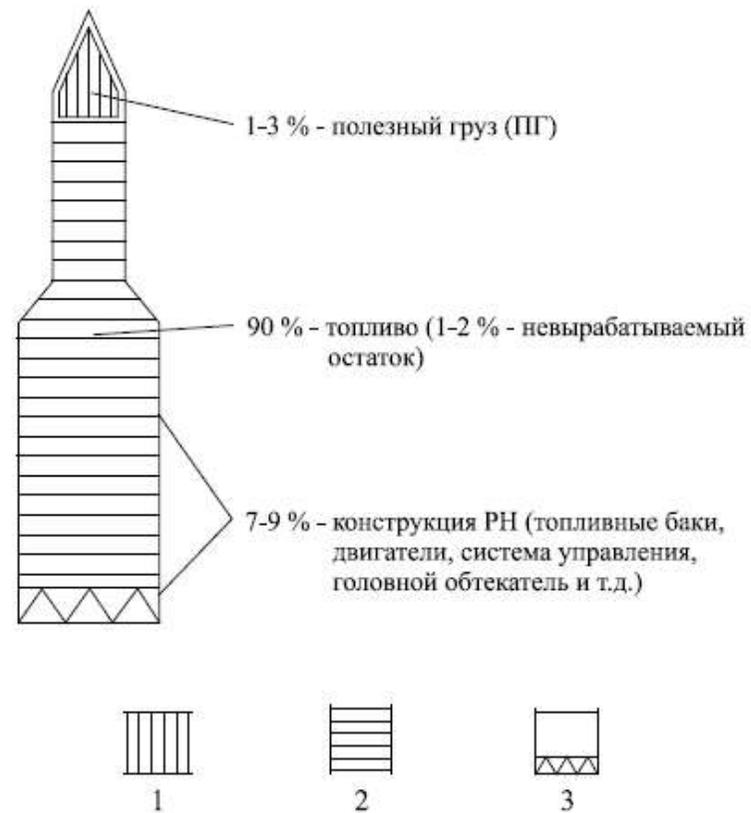
## 2.3. Причины и примеры образования отходов КД в общей системе воздействий и последствий РКТ и КД

Современная ракета-носитель (РН) гораздо менее эффективна, чем паровоз: из 100% стартовой массы лишь 1-3% - полезная нагрузка, 90% - топливо (зачастую в нем в качестве горючего применяют сверхтоксичный несимметричный диметилгидразин (НДМГ) - гептил, доставшейся в наследство от «холодной» войны), остальные 7-9% – фрагменты конструкции, летящие после срабатывания и отделения в районы падения.

В отличие от «традиционной» космической точки зрения, с экологической точки зрения ракета – это экологически грязная и экономически расточительная технология. Ракета многократно грязнее и расточительнее, чем, например, самолет [10].

См. Рис. 8-12.

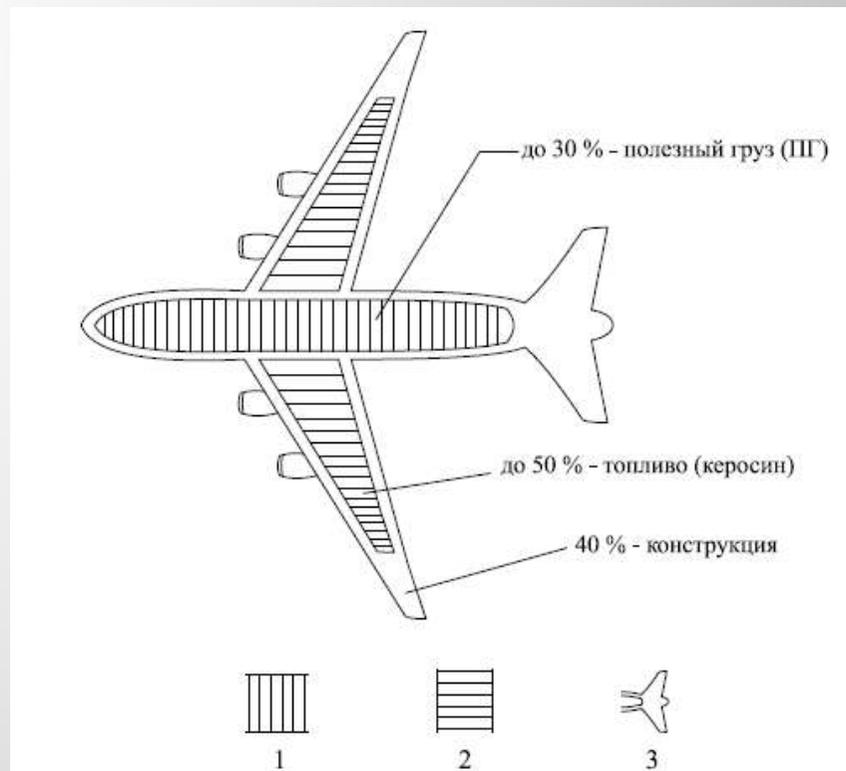
*Именно в результате массового применения человечеством таких технологий за 60 лет Космической эры возникли и нарастают загрязнения поверхности Земли и околоземного космического пространства отходами КД.*



**Рис. 3.** Ракета с экологической точки зрения (в «статике»).  
 Примерное распределение стартовой массы для ракеты с ЖРД, близкое к характеристикам РН «Протон» (стартовая масса ~ 700 т).  
 Обозначения: 1 - ПГ; 2 - топливо; 3 - конструкция РН.

**Рис.8.** Ракета с экологической точки зрения (цитир. Рис. 3 из:

Кричевский С.В. Экологическая история техники (методология, опыт исследований, перспективы):  
 Монография. М.: ИИЕТ РАН, 2007. С.134. [10]).



**Рис. 7.** Самолет с экологической точки зрения (в «статике»).  
 Примерное распределение массы транспортного самолета,  
 близкого к характеристикам Ан-124 (максимальная взлет-  
 ная масса ~ 405 т).  
 Обозначения: 1 - ПГ; 2 - топливо; 3 - конструкция самолета.

**Рис. 9.** Самолет с экологической точки зрения (цитир. Рис. 7 из:  
 Кричевский С.В. Экологическая история техники. С.138 [10]).

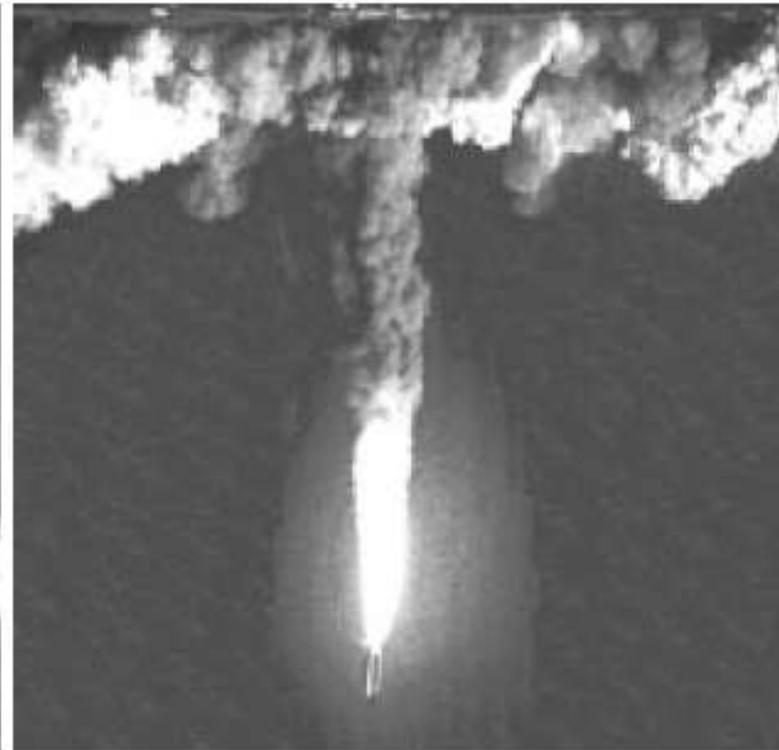


**Рис.10. Запуск гептиловой РН Протон.**

[[https://liter.kz/mobile/ru/news/show/11047-28\\_avgusta\\_planiruetsya\\_pervyi\\_posle\\_avarii\\_zapusk\\_protona\\_s\\_baikonura](https://liter.kz/mobile/ru/news/show/11047-28_avgusta_planiruetsya_pervyi_posle_avarii_zapusk_protona_s_baikonura)]



**а**



**б**

**Рис.11. Космический (а) и экологический (б) взгляды на стартующую ракету.  
(Из: Кричевский С.В. Экологическая история техники. С.136 [10]).**

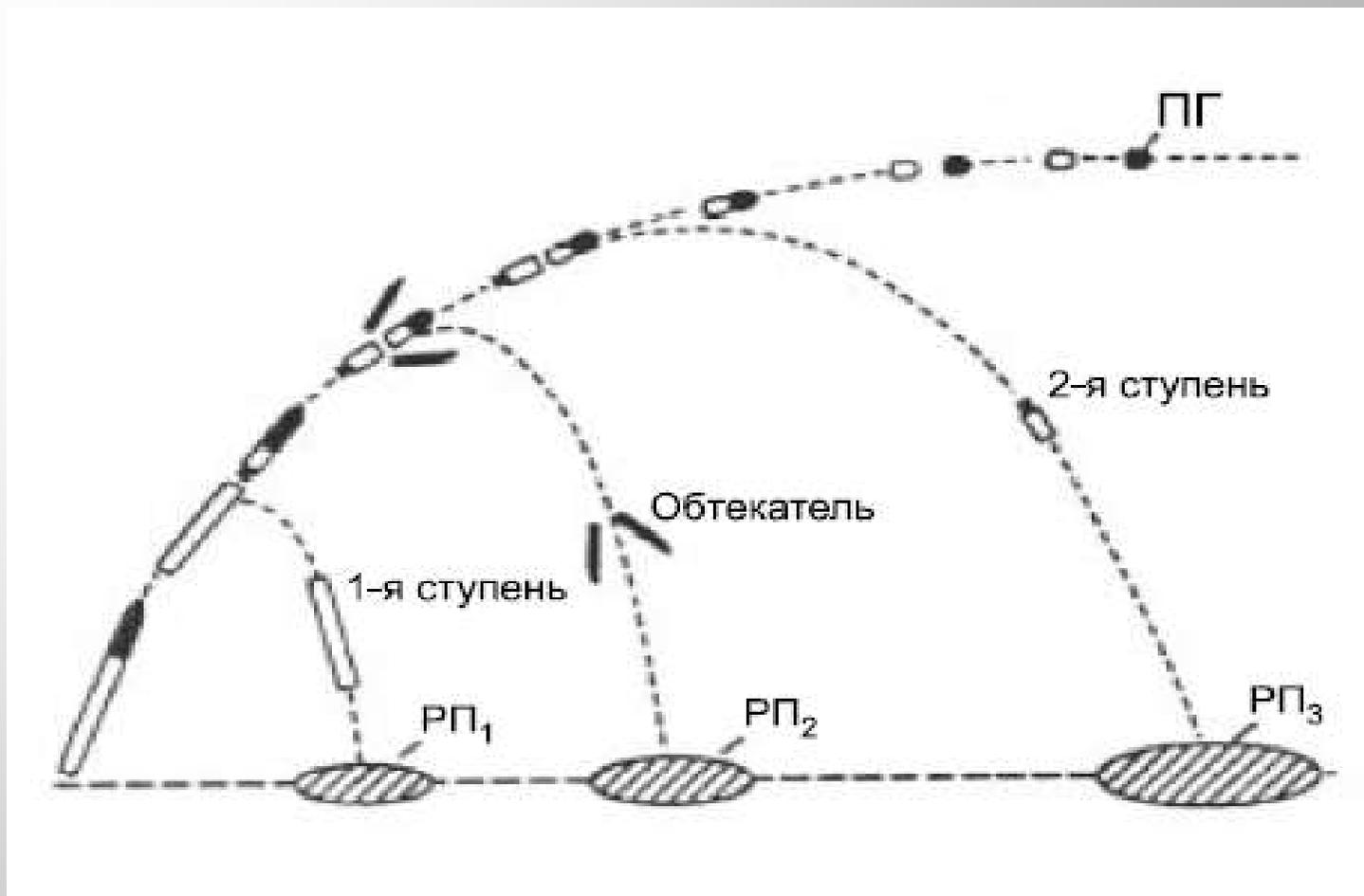


Рис.12. Схема, поясняющая образование районов падения (РП) при запусках космических объектов ракетами-носителями с Земли (Из: Власов М.Н., Кричевский С.В. Экологическая опасность космической деятельности: Аналитический обзор. - М.: Наука, 1999. С.91 [6]).

Обозначения: РП 1, РП 2, РП 3 - районы падения; ПГ - полезный груз; - - - - - траектории.

Высоки риски аварий при пусках РН, вероятность неудачи  $\sim 0,03-0,05$ , т.е. 3-5% запусков аварийные (в среднем каждый 25-й).

См. примеры на **Рис. 13 и 14**.

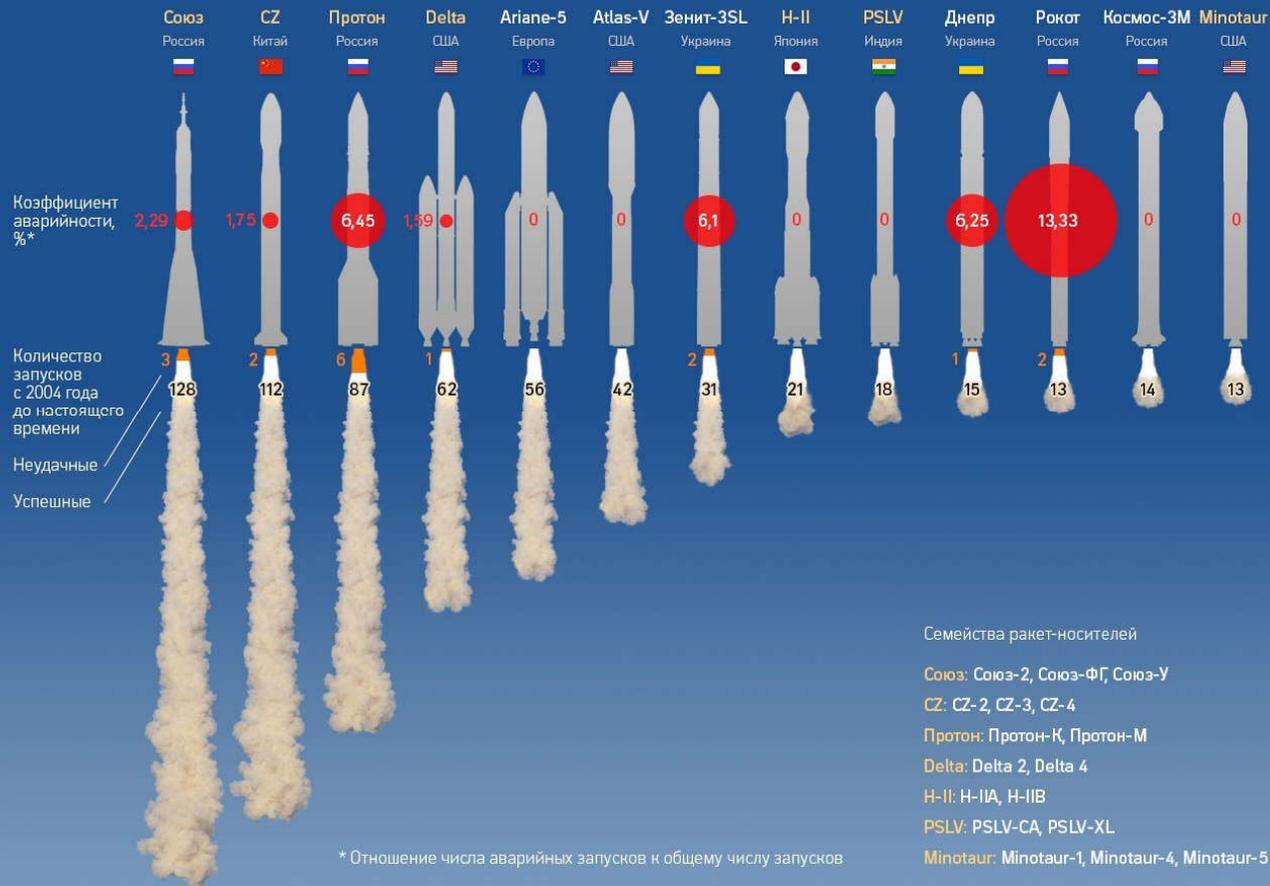
**Примеры:** «парк» всех РН и карта космодромов мира; инфраструктура космодрома Байконур (1 из более 20-ти в мире); район падения (РП) №326 для 2-х ступеней РН «Протон», запускаемых с космодрома Байконур; зоны падения для нового космодрома Восточный (проект); загрязнений ОС отходами КД на Земле и в Космосе, - см. на **Рис. 15-27**; экологический баланс космической станции «Мир», - см. **Табл. 1 и 2**.

В авиации к.п.д. самолетов на порядок выше (до  $\sim 30-40\%$ ), а безопасность полетов - на 3-4 порядка выше, чем у РН.

Для автомобильного топлива давно действуют экостандарты (Евро-1,2,3,4,5), а для ракетного их нет (но есть проекты «зеленого» топлива).

Космическая отрасль в России и во всем мире не спешит вводить новые стандарты по топливам, возвращаемым ступеням ракет, районам падения, отходам КД и т.д.

## Основные ракеты-носители и их аварийность



© РБК 16.05.2014

Инфографика: Игорь Терентьев, Александр Соколов, Олеся Волкова Данные: NASA, Роскосмос, Gunter's Space Page, Claude Lefleur Spacecraft Encyclopedia

pikabu.ru

Рис. 13. Основные ракеты-носители и их аварийность (РБК, 2014)

[[https://pikabu.ru/story/osnovnyie\\_raketyinositeli\\_i\\_ikh\\_avariynost\\_2287267](https://pikabu.ru/story/osnovnyie_raketyinositeli_i_ikh_avariynost_2287267)]

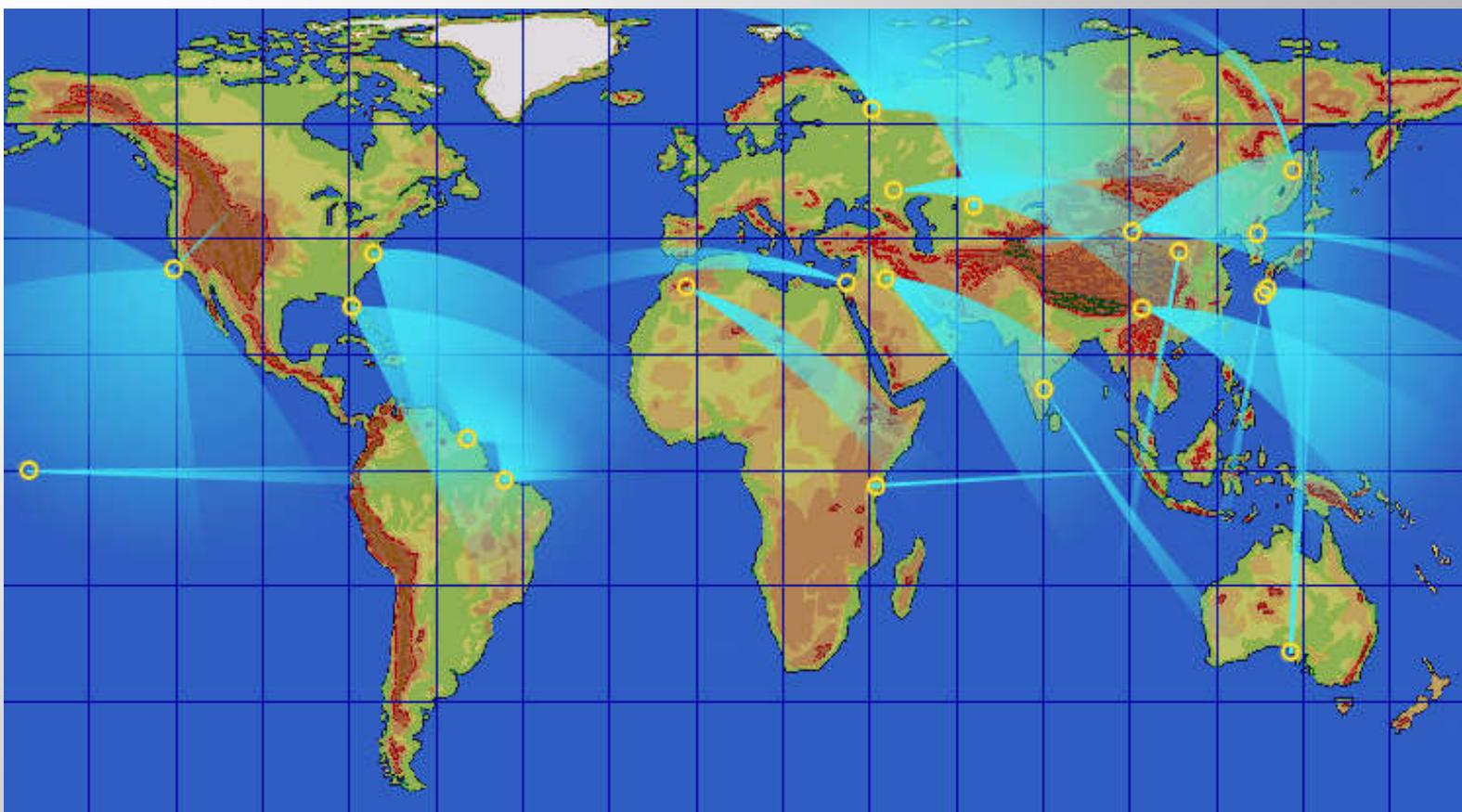


**Рис.14. Падение ракеты-носителя «Протон-М» при запуске на космодроме Байконур 2 июля 2013 г. // Сайт РИА НОВОСТИ. 11.06.2014. [[http://ria.ru/trend/accident\\_Proton\\_GLONASS\\_02072013/](http://ria.ru/trend/accident_Proton_GLONASS_02072013/)].**



**Рис.15. Все космические ракеты-носители мира**

[<https://twitter.com/molnianauka/status/587233718235860992/photo/1>]

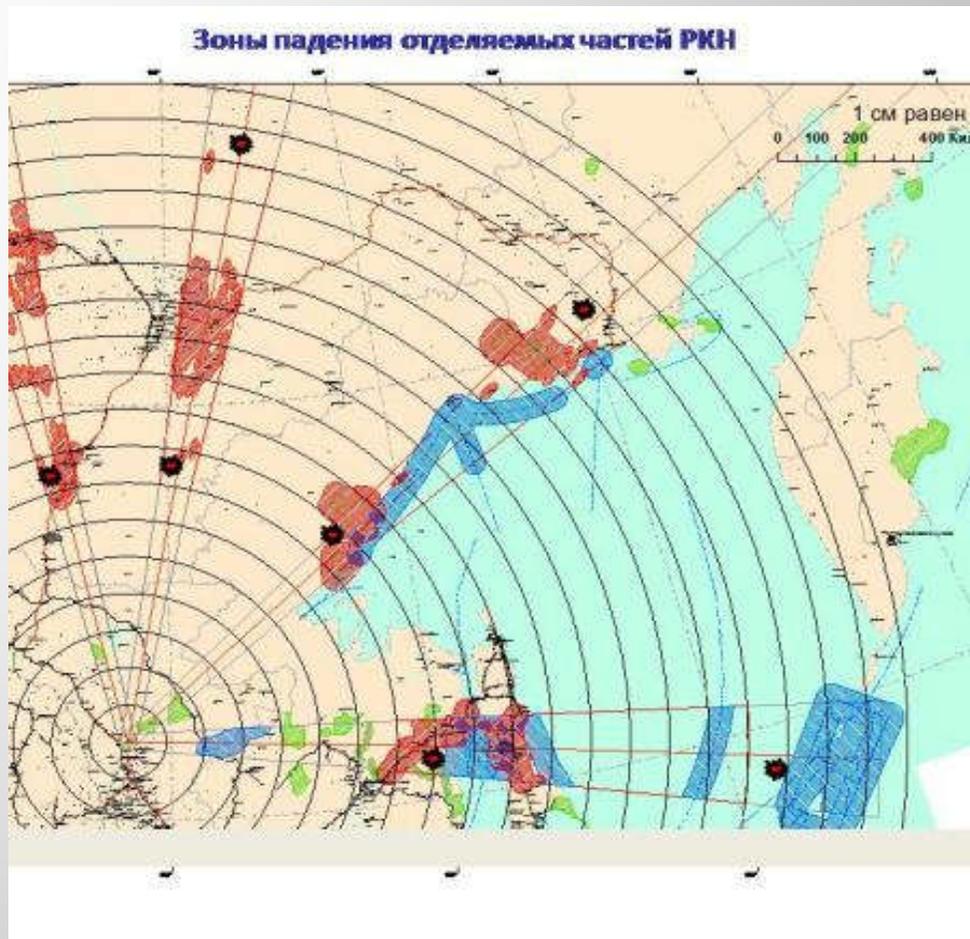


**Рис.16. Космодромы мира и основные сектора запусков РН**  
[<http://vadim-andreev.narod.ru/ufo/kosmos.htm>]





**Рис. 18.** Алтайский заповедник и район падения №326 для 2-й ступени РН «Протон» (запускаемых с космодрома «Байконур», Казахстан) на территории Республик Алтай и Хакассия, Россия. По: Сайт Новости космонавтики. Форум. [[http://novosti-kosmonavtiki.ru/forum/forum14/topic10452/?PAGEN\\_1=3](http://novosti-kosmonavtiki.ru/forum/forum14/topic10452/?PAGEN_1=3)]



**Рис. 19. Космодром Восточный. Зоны падения (проект).**  
[<http://vostokdrom.ru/map>]



**Рис.20. Фрагмент РН (ступень) в водоеме.**

[<http://2002.novayagazeta.ru/nomer/2002/88n/n88n-s16.shtml>]



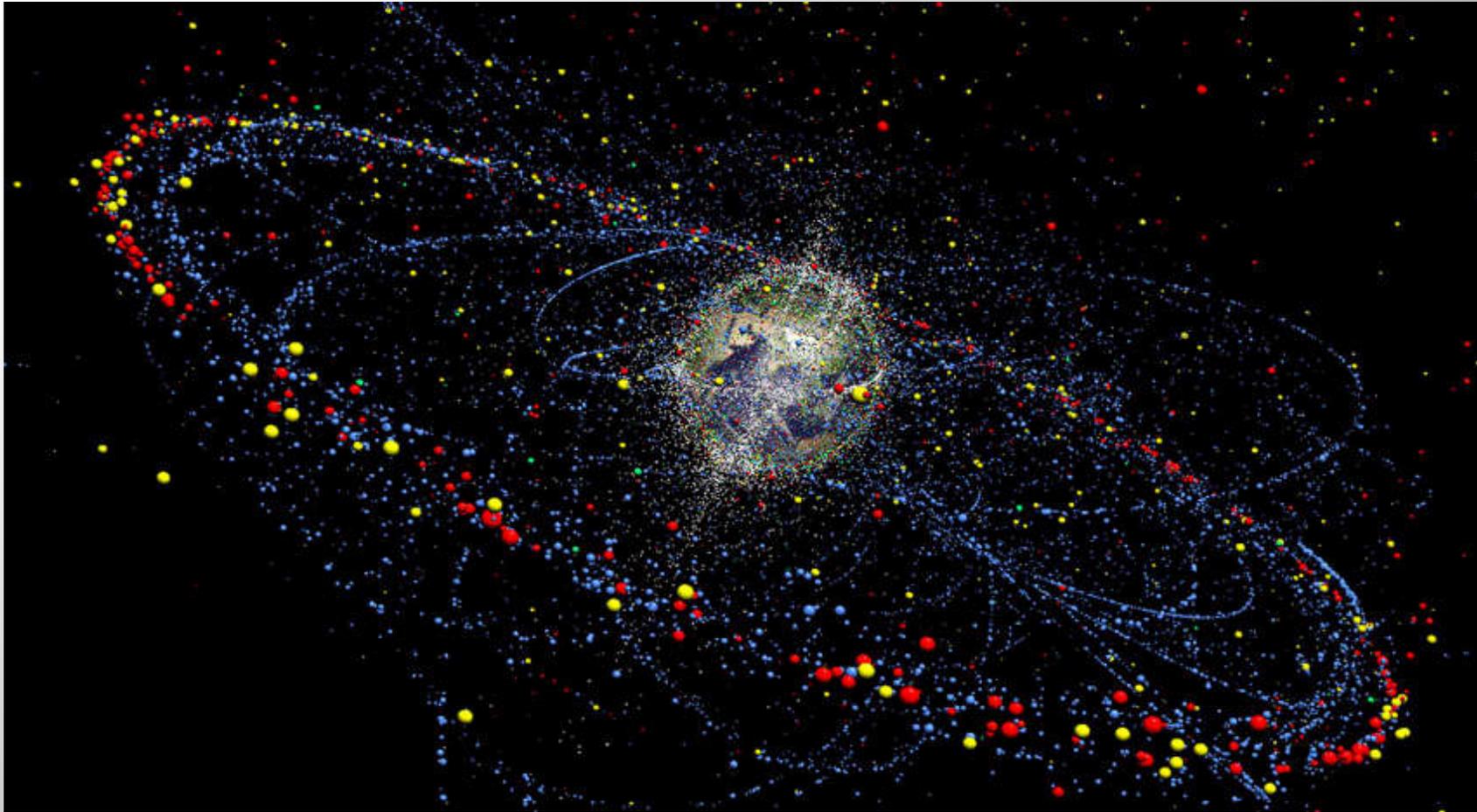
**Рис.21. Фрагмент головного обтекателя РН после падения в населенном пункте. [http://cdn.trinixy.ru/pics4/20101005/surprise\_from\_the\_sky\_01.jpg]**



**Рис.22. Фрагмент ступени РН после падения в населенном пункте**  
<http://www.qtopia.ch/medien/images/big/129-157-3553.jpg>



**Рис. 23.** 2-я ступень РН «Протон» после падения в алтайской тайге. По: «Алтай – Космос – Микрокосм» / Дельфис. 1998. №3. [<http://www.delphis.ru/journal/article/altai-kosmos-mikrokosm>]



**Рис.24. Распределение космического мусора вокруг Земли.** По: Associated Press. 25.04.2013 г. [<http://www.cbc.ca/news/technology/robots-harpoons-could-clean-up-space-junk-1.1301088>]

# Космический мусор – угрозы мнимые и реальные

СКОЛЬКО КОСМИЧЕСКОГО МУСОРА НА ОКОЛОЗЕМНОЙ ОРБИТЕ?

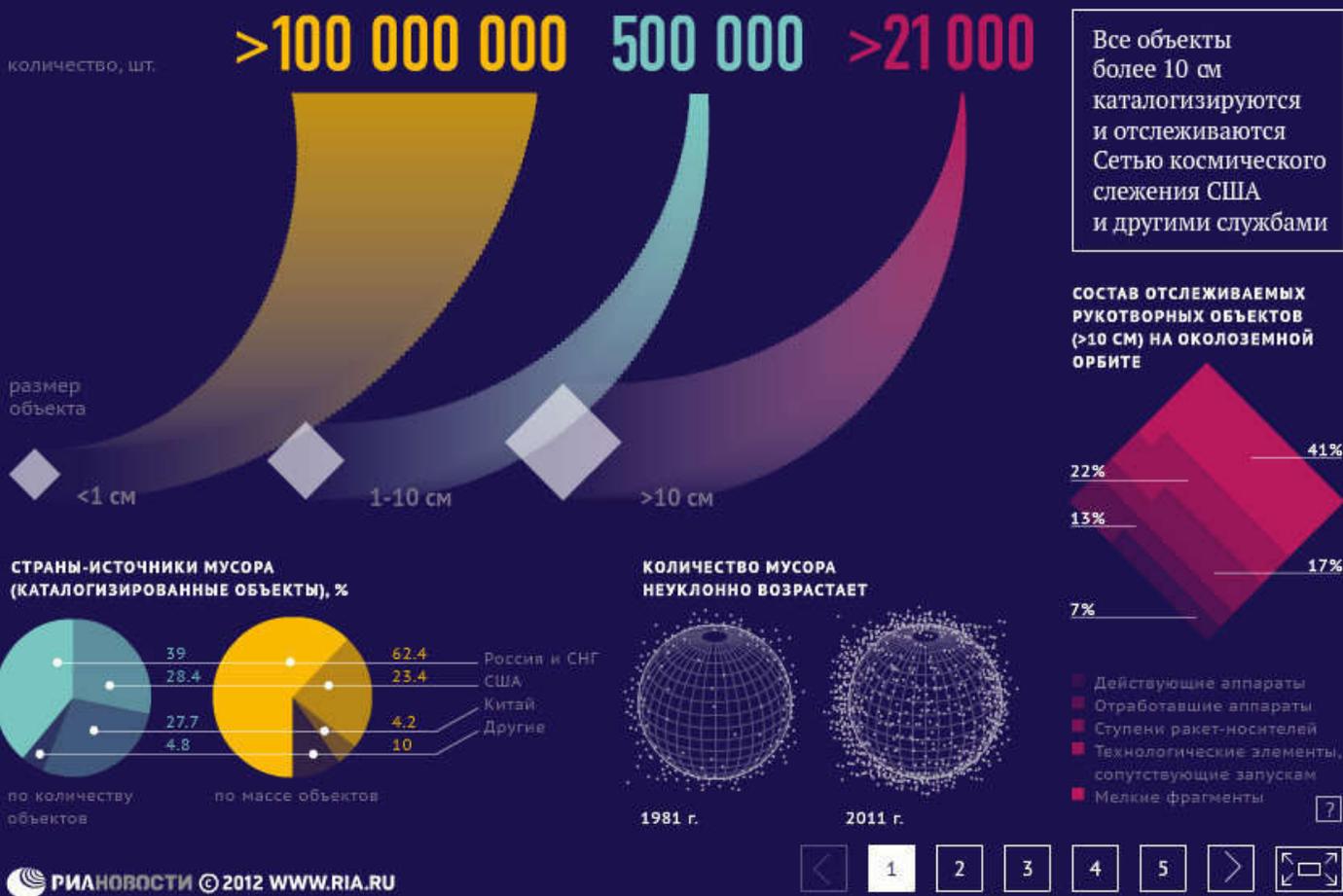


Рис.25. Космический мусор в ОКП. По: РИА НОВОСТИ, 2012.

# КОСМИЧЕСКИЙ МУСОР

## ЧТО ЭТО

Находящиеся на орбите нефункционирующие антропогенные материалы: отработанные ступени ракеты-носителя, осколки столкновения спутников.

## СТОЛКНОВЕНИЯ И ВЗРЫВЫ СПУТНИКОВ

11 января 2007 — уничтожение Китаем одного из своих метеорологических спутников. В результате — облако космического мусора, состоящего примерно из 900 фрагментов.

10 февраля 2009 года — первый случай столкновения спутников. Iridium 33 и Kosmos-2251 столкнулись на скорости 24140 км/ч. В результате — примерно 2000 обломков.

Эти события увеличили количество космического мусора более чем на 60%.

СКОЛЬКО НАД НАМИ КОСМИЧЕСКОГО МУСОРА?

>10 000 000

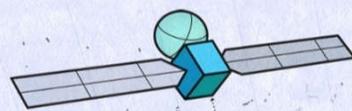
ЧАСТИЦ РАЗМЕРОМ МЕНЕЕ 1 СМ



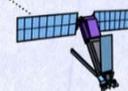
21 000  
объектов  
размером более 10 см



500 000  
объектов, сопоставимых  
с размером жемчужины



КОСМОС-2251  
Российский военный спутник связи.  
Запущен 16 июня 1993 с космодрома Плесецк



IRIDIUM 33  
Один из 72 спутников оператора спутниковой телефонной связи Иридиум. Запущен 14 сентября 1997 с космодрома Байконур.



28 968 км/ч

### БЫСТРО

Скорость движения фрагментов по орбите около 28 968 км/ч — это примерно в 20 раз быстрее скорости звука



8 км

### БЛИЗКО

Примерно раз в 2 минуты обломки проходят на расстоянии 8 км от спутников.

73 %

отслеживаемого космического мусора находится на низкой околоземной орбите

193 км

ЗЕМЛЮ ОПОЯСЫВАЕТ СЛОЙ ПАРЯЩЕГО КОСМИЧЕСКОГО МУСОРА, В ОСНОВНОМ СОСТОЯЩЕГО ИЗ ФРАГМЕНТОВ ВЫШЕДШИХ ИЗ СТРОЯ СПУТНИКОВ И БОЛЬШОГО КОЛИЧЕСТВА РАКЕТНЫХ УСКОРИТЕЛЕЙ. ДВА ИЛИ ТРИ РАЗА В ДЕНЬ СПУТНИК, ОБРАЩАЮЩИЙСЯ ВОКРУГ ЗЕМЛИ, ПРОХОДИТ В НЕПОСРЕДСТВЕННОЙ БЛИЗОСТИ ОТ ПОТОКА ОРБИТАЛЬНОГО МУСОРА. ЭТО ЯВЛЕНИЕ СТАВИТ ПОД УГРОЗУ НЕ ТОЛЬКО ПОЛЕТЫ СОВРЕМЕННЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ, НО И БУДУЩИЕ МИССИИ.

Рис. 26. Космический мусор

[<http://in-space.info/news/kosmicheskii-musor-mozhet-sdelat-kosmos-nedostupnym-dlya-cheloveka-infografika>]

## ВКЛАД В СОЗДАНИЕ КОСМИЧЕСКОГО МУСОРА ПО СТРАНАМ

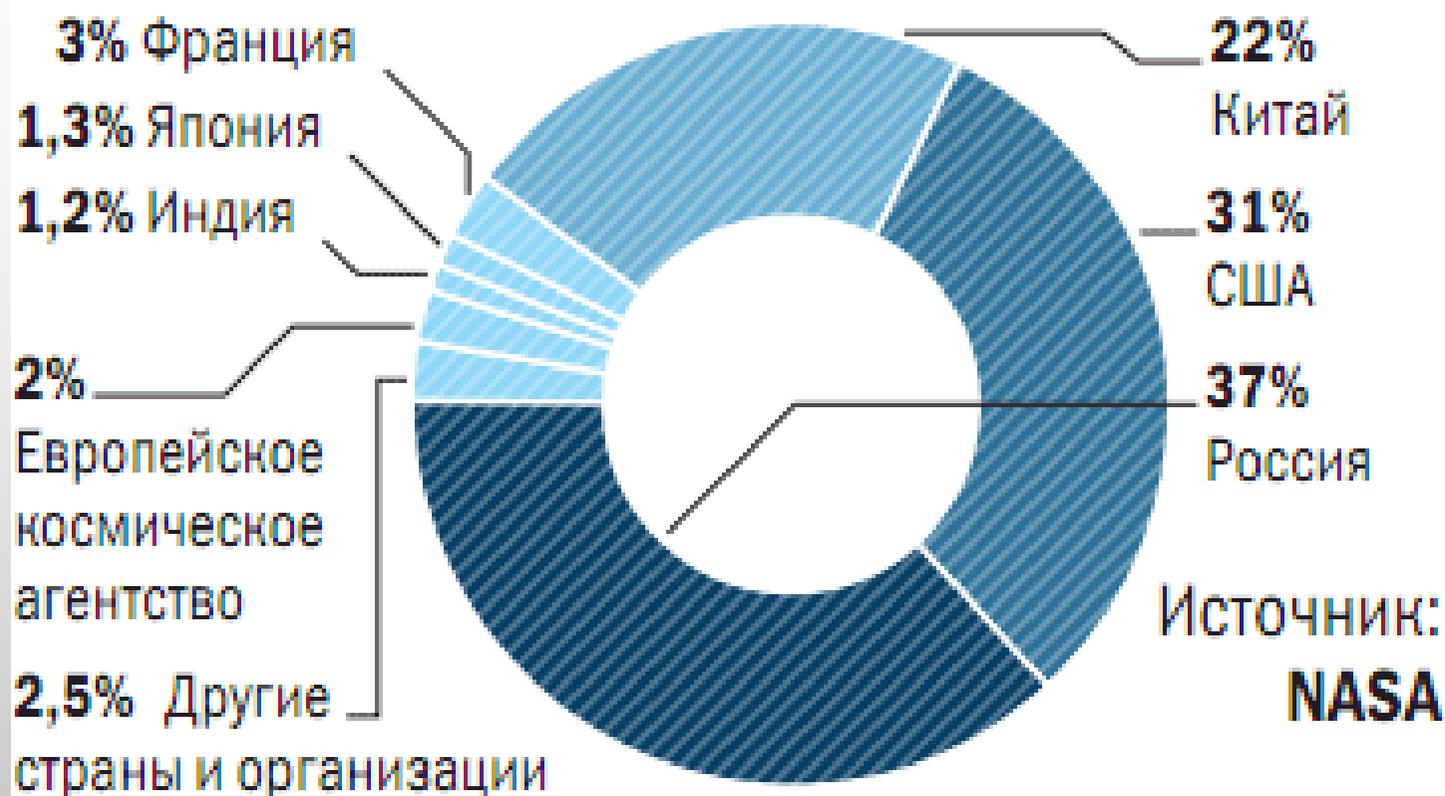


Рис. 27. Вклад стран в создание космического мусора по странам  
(Из: Журнал «Огонёк» №31 от 08.08.2011, с. 39 [<https://www.kommersant.ru/doc/1692854>])

Таблица 1. Экологический баланс масс (в тоннах) для этапов создания и эксплуатации космической станции «Мир» (приближенные оценки)

Общая стартовая масса	Топливо	Конструкция НН	Весь полезный груз (ПГ), включая станцию «Мир», все корабли, экипажи, материалы, - смотри части ПГ в графах 1), 2), 3)	1) Все корабли «Союз» (40 ТК + 60 ГК), «Спейс Шаттл» (8 МТКК, но частично)	2) Станция «Мир»	3) «Расходня» масса, прошедшая через «Мир»
~43400 т	~38600т	~3800т	~ 1000 т	~ 710 т	~ 140 т	~ 150 т
100%	~ 90%	~ 8 %	~ 2%	~71 % ПГ	~ 14% ПГ	~ 15% ПГ

Таблица 2. Экологический баланс масс (в тоннах) для этапа ликвидации космической станции «Мир» (приближенные оценки)

Станция «Мир» перед ликвидацией	Конструкция, снаряжение, материалы, топливо	Научное оборудование	Ликвидированная масса	Сгоревшая масса (загрязнения атмосферы)	Несгоревшая масса (фрагменты, упавшие в Океан)
~ 140т	~ 126 т	~ 14 т	~ 140 т	~ 115т	~ 25т
100 %	~ 90%	~ 10%	100%	~ 82%	~ 18%

Таблицы 1 и 2. Экологический баланс масс космической станции «Мир»

(Из: Кричевский С.В. Экологическая история техники. М., 2007. С.148 [10]).

## 2.4. Классификация воздействий РКТ на ОС, образование отходов КД, их токсичность и др.

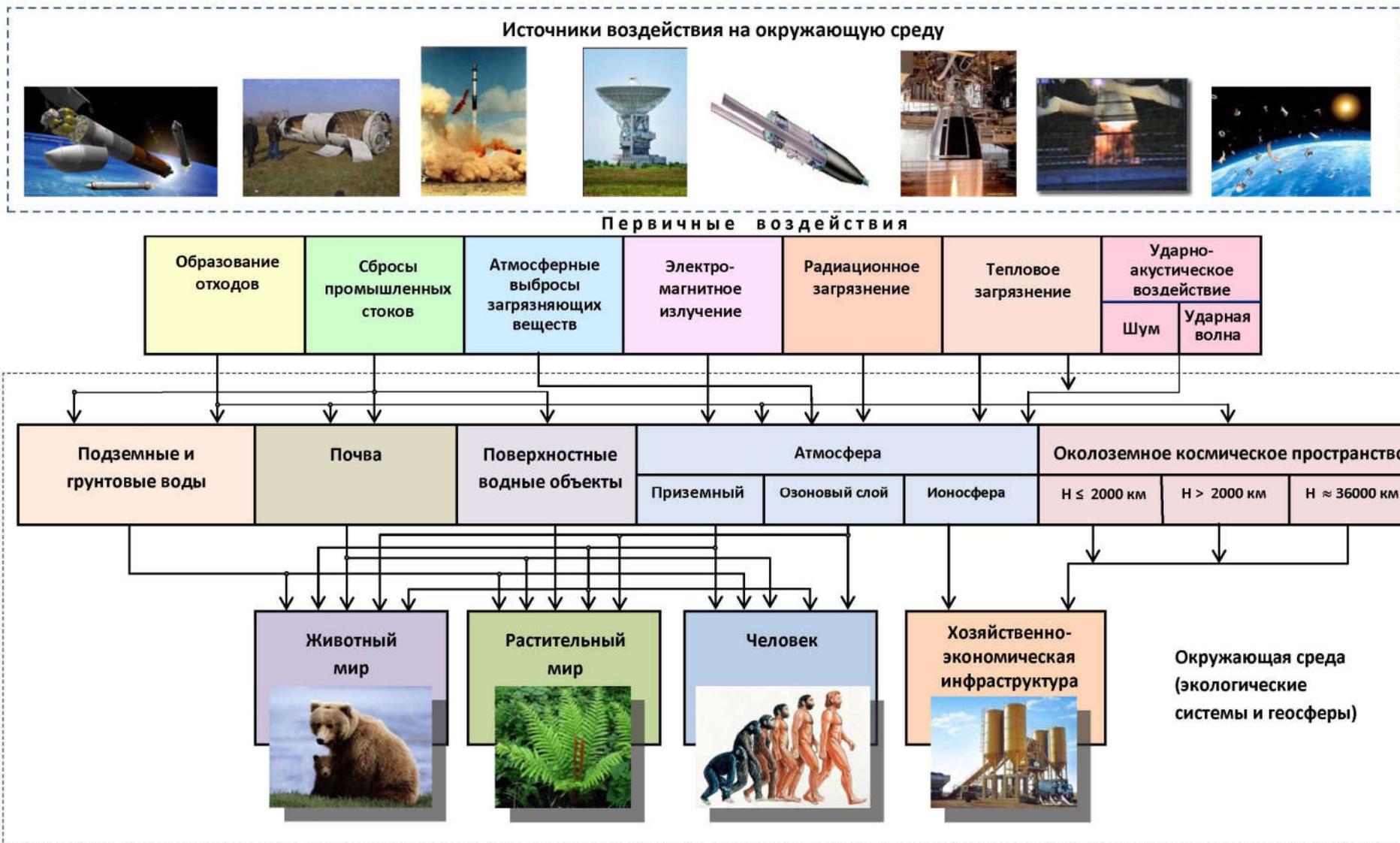
Кратко рассмотрим:

- 1) современную классификацию воздействий ракетно-космической техники (РКТ) и КД на ОС;
- 2) образование отходов КД;
- 3) токсичность отходов КД;
- 4) сбросы промышленных стоков

(по: Ключников В.Ю., 2014 [13]) , - см. Рис. 28-31, слайды В.Ю. Ключникова).

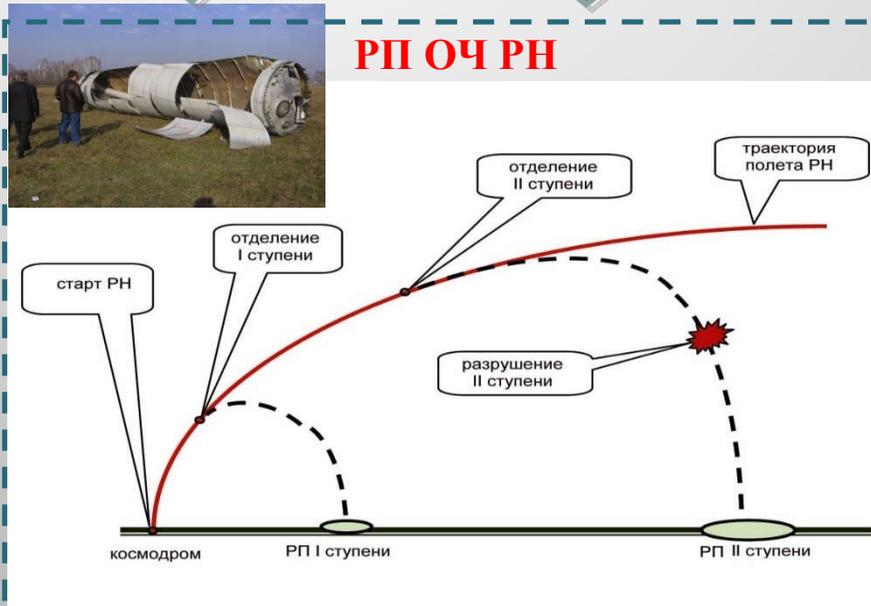
# Рис. 28. Современная классификация воздействий ракетно-космической техники на окружающую среду

(слайд В.Ю. Ключникова, по: Ключников В.Ю. Состояние проблемы изучения воздействия ракетно-космической техники на окружающую среду. СПб, 2014 [13]).



# Рис. 29. Образование отходов космической деятельности

(слайд В.Ю. Ключникова, по: Ключников В.Ю. Состояние проблемы изучения воздействия ракетно-космической техники на окружающую среду. СПб, 2014 [13]).



## РЛ ОЧ РЛ

$S_{РЛ} = \pm 22 \times \pm 12 \text{ км (РБ-1)} \dots \pm 80 \times \pm 30 \text{ км (ГО)}$   
 $m_{ОЧ(сух)} = \sim 5-31 \text{ т (РБ-1)} \dots 0,3-3,5 \text{ т (ГО)}$   
 $m_{Ост КРТ} = \text{до } 2,1 \text{ т «О»}, \text{ до } 1,2 \text{ т «Г» («Протон-М»)}$



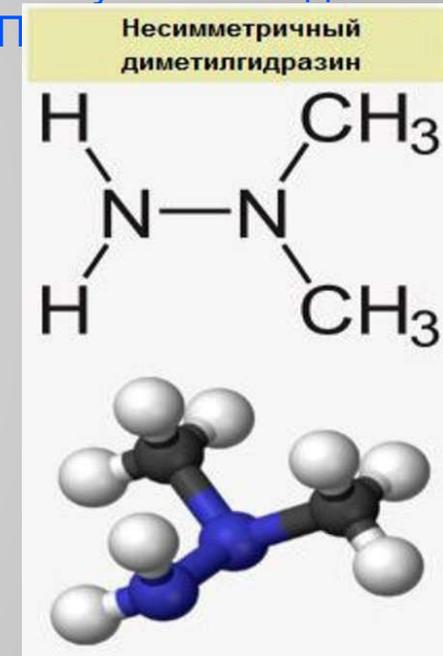
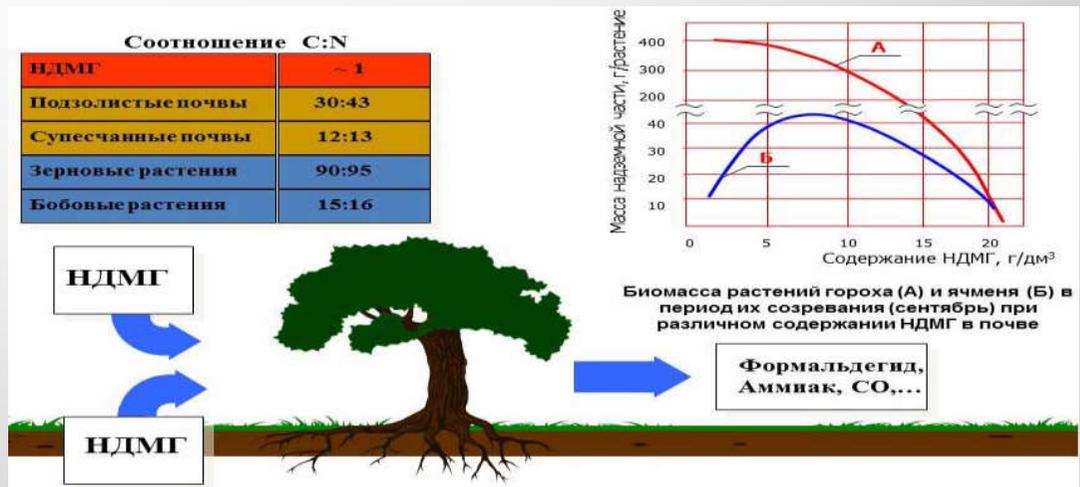
## ОКП



# Рис. 30. Экотоксичность отходов ракетно-космической деятельности

(слайд В.Ю. Ключникова, по: Ключников В.Ю. Состояние проблемы изучения воздействия

1. **НДМГ** ( $C_2H_7N_2$ ) – бесцветная жидкость с резким неприятным запахом (запах тухлой селедки). Слабый характерный запах НДМГ ощущается на уровне  $0.01 \text{ мг/м}^3$ , в концентрации  $0.05-0.08 \text{ мг/м}^3$  – как сильный неприятный запах.



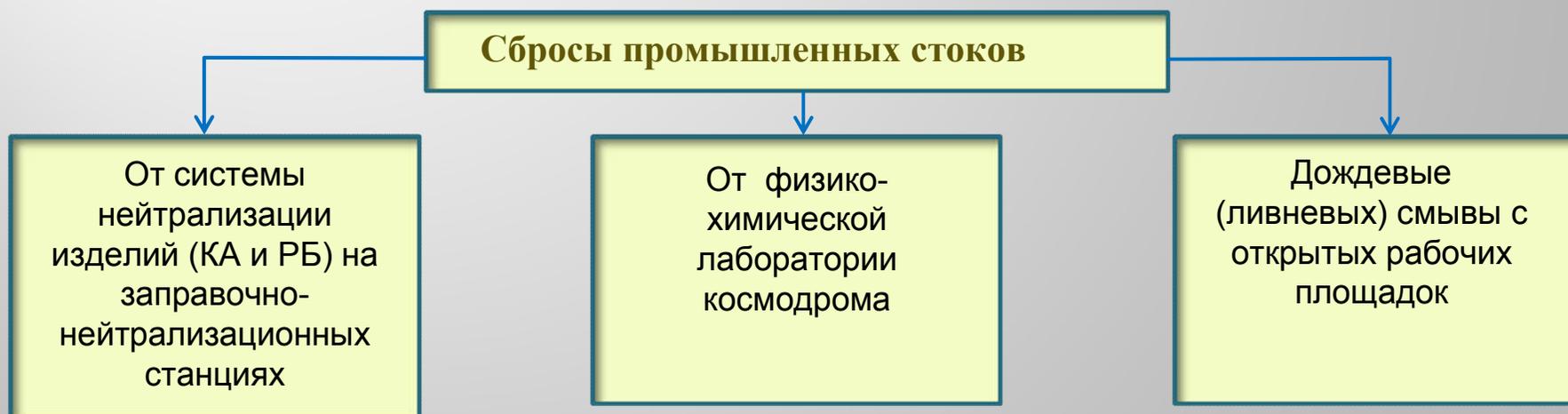
Продукты разложения НДМГ	Предельно допустимые концентрации						
	Атмосферный воздух, мг/м <sup>3</sup>			Вода, мг/л		Почва, мг/кг	Продукты питания, мг/кг
	ПДК <sub>РЗ</sub>	ПДК <sub>МР</sub>	ПДК <sub>СС</sub>	ПДК <sub>ХБ</sub>	ПДК <sub>РХ</sub>		
<b>ДМА</b>	1.0	0.005	0.005	0.1	0.005	-	-
<b>МДМГ</b>	0.3	-	-	0.1	-	-	-
<b>ТМТ</b>	3.0	0.005	0.005	0.1	-	-	-
<b>НДМА</b>	0.01	-	0.0001	0.01	-	-	0.002
<b>ФА</b>	0.5	0.035	0.003	0.05	0.025	7.0*	-
<b>СНК</b>	0.3	-	0.01	0.1	-	-	-

## Рис. 31. Сбросы промышленных стоков

(слайд В.Ю. Ключникова, по: Ключников В.Ю. Состояние проблемы изучения воздействия ракетно-космической техники на окружающую среду. СПб, 2014 [13]).

**Промышленные стоки** образуются как результат потребления воды для каких-либо целей (например при использовании воды для смыва КРТ или нефтепродуктов). Факт образования сточных вод в процессе техногенной деятельности определяется наличием факта водопотребления.

**Жидкие отходы** - остатки сырья, материалов, веществ (например остатки КРТ), образовавшиеся в процессе РКД и утратившие исходные потребительские свойства (ГОСТ 30772-2001. Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Термины и определения).



Загрязненные сточные воды направляются в существующую водопроводную сеть космодрома и далее на биологические очистные сооружения (БОС). Сточные воды без загрязнений направляются в бытовую канализацию космодрома.

### **3. УПРАВЛЕНИЕ ОТХОДАМИ КД**

#### **3.1. Особенности и недостатки существующей системы, необходимость ее совершенствования на основе новых знаний, «правил игры» и технологий**

Существующая система управления отходами КД в России и мире малоэффективна, т.к. имеет особенности и недостатки, вследствие которых по сути не устраняет причины образования отходов, с большим отставанием принимает решения по старым и новым отходам КД.

Об этом свидетельствуют:

- 1) загрязнения ОС на Земле и в Космосе,
- 2) рост количества и массы отходов;
- 3) нарастание рисков, особенно в ОКП, связанных с саморазмножением космического мусора и угрозой поражения действующих КА, ограничения и даже прекращения доступа с Земли в космос и т.п.

Вместе с тем накоплены необходимые данные и знания об отходах КД и способах обращения с ними в целях минимизации их количества, негативных воздействия и последствий.

Однако, «правила игры» в сфере КД и управления отходами КД явно устарели и нуждаются в срочном обновлении с учетом реалий и тенденций. Предпринимаются попытки выработать новые «правила игры», особенно на уровне ООН по проблеме космического мусора в ОКП [25], но их уже недостаточно: КД ведется уже на Луне и на Марсе.

Первопричиной и ключевым моментом является технологическое отставание космической техники и деятельности в решении экологических проблем обеспечения экобезопасности и охраны ОС, следствием чего является проблема отходов КД, которую невозможно решить без экологизации космической техники и всей КД.

Стратегическое направление управления отходами КД – экологическая оценка (см. Рис. 32) и активная экологизация РКТ и КД, переход к новому, чистому и зеленому технологическому укладу.

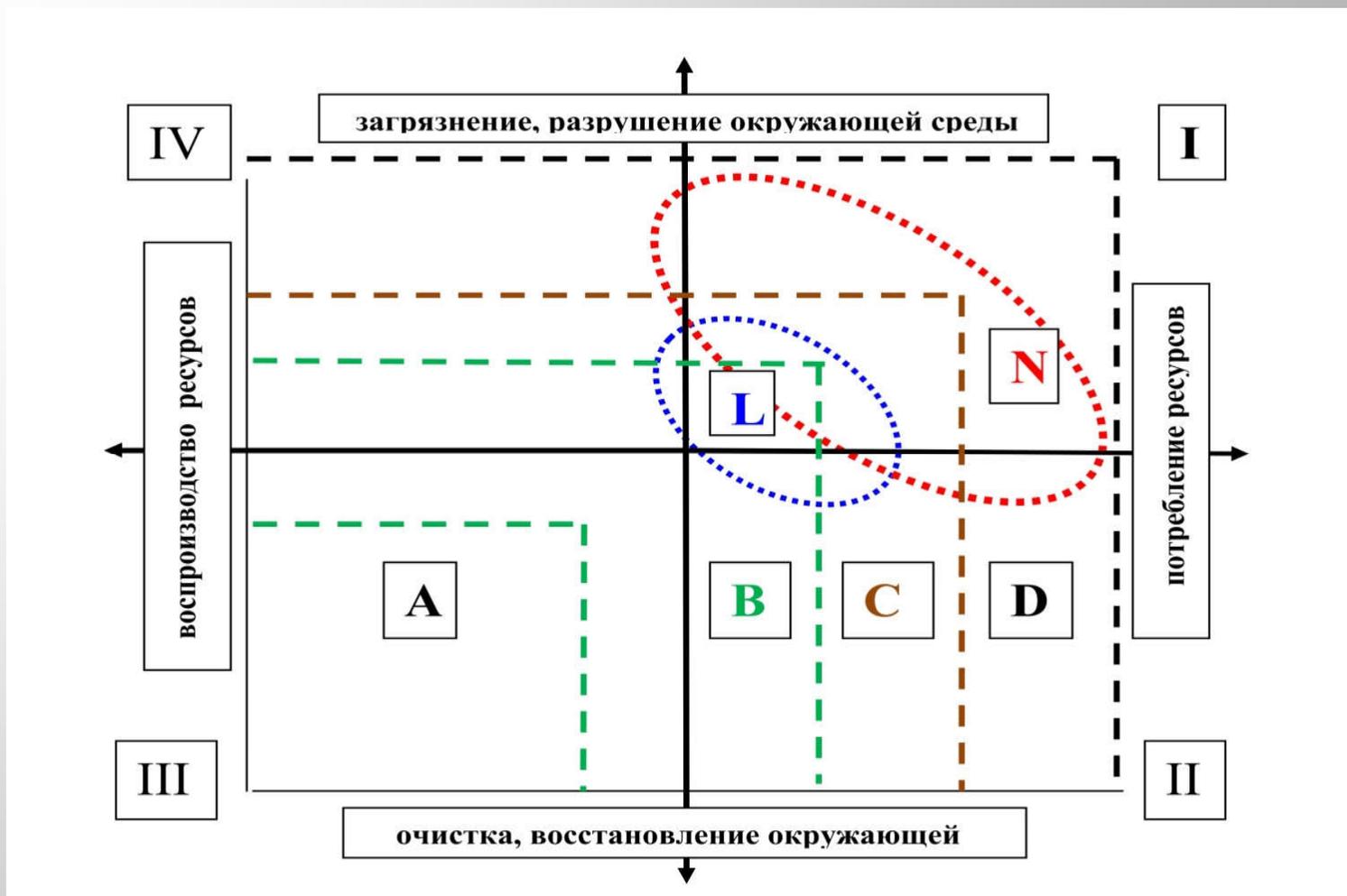


Рис. 32. Модель оценки экологичности технологий, техники, отраслей ... в пространстве «потребление, воспроизводство ресурсов – загрязнение, разрушение, очистка, восстановление окружающей среды» (по: Кричевский С.В. «Зеленая» космонавтика..., 2014. С.38 [12]).

### 3.2. Персоналии, их идеи и проекты (примеры)

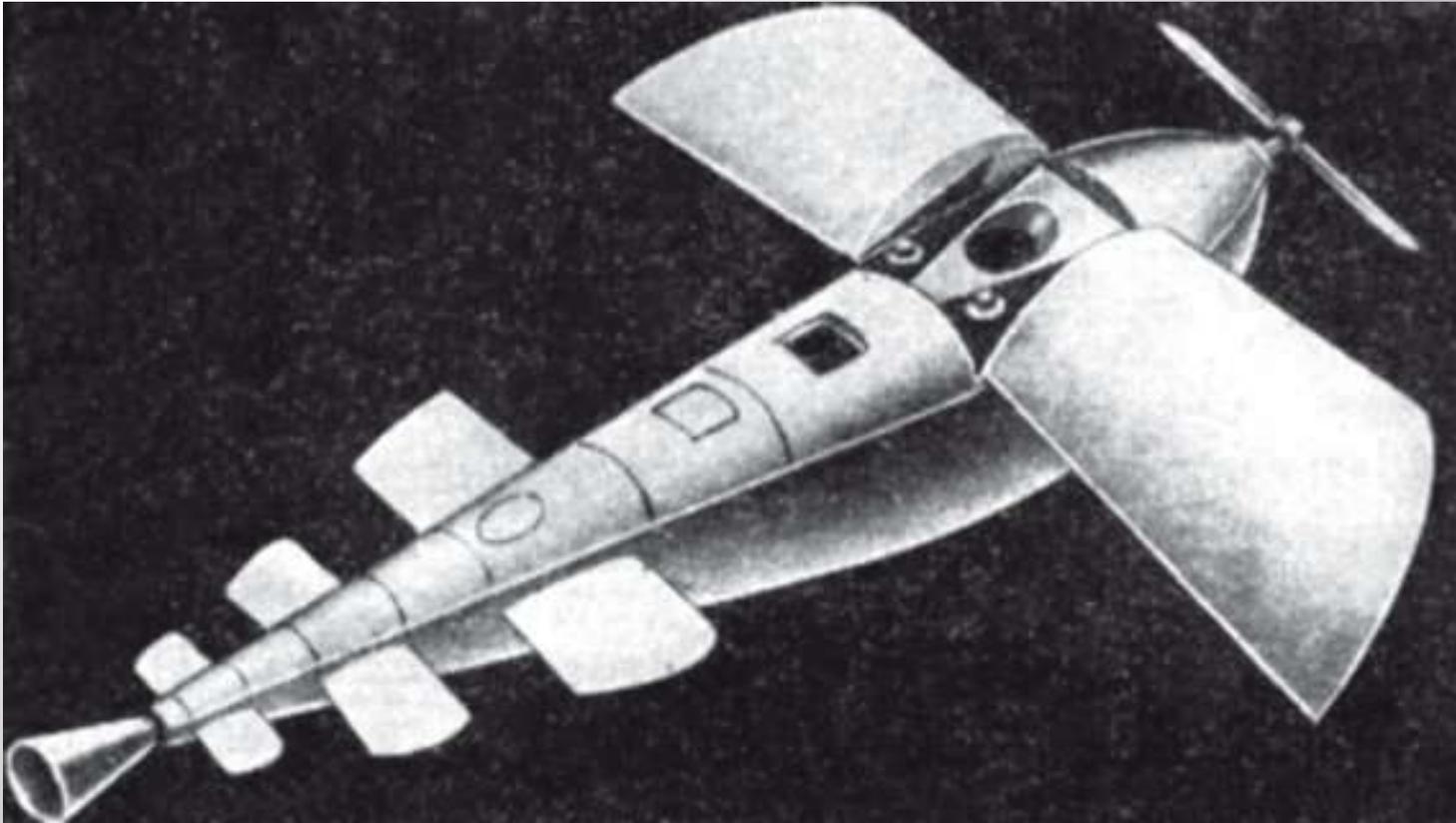
*Выделим и приведем 4 важных примера за ~100 лет (XX-XXI вв.), охватывающих различные аспекты экологичности в сфере космической деятельности:*

1. **Ф.А. Цандер** (1887-1933), ученый, инженер-конструктор, изобретатель, Россия / СССР (в 2017 г. было 130 лет со дня его рождения). В 1909 г. (по др. данным – в 1911 г.) предложил идею сжигания в полете в качестве топлива элементов конструкции летательного аппарата (ЛА), ставших ненужными. Разработал проект межпланетного корабля с этой технологией, сделал описание, заявку на изобретение (1923-1924) [14]. Имеет особенности: возможно загрязнение ОС при сжигании металлов и т.п. (по: Михайлов В.П., 1999 [7, С. 80]).

См. Рис. 33, 34. ***Проект не реализован.***



**Рис. 33. Цандер Фридрих Артурович (1887-1933), ученый, инженер.**  
[<http://www.arran.ru/data/exposition/14/143.jpg>]

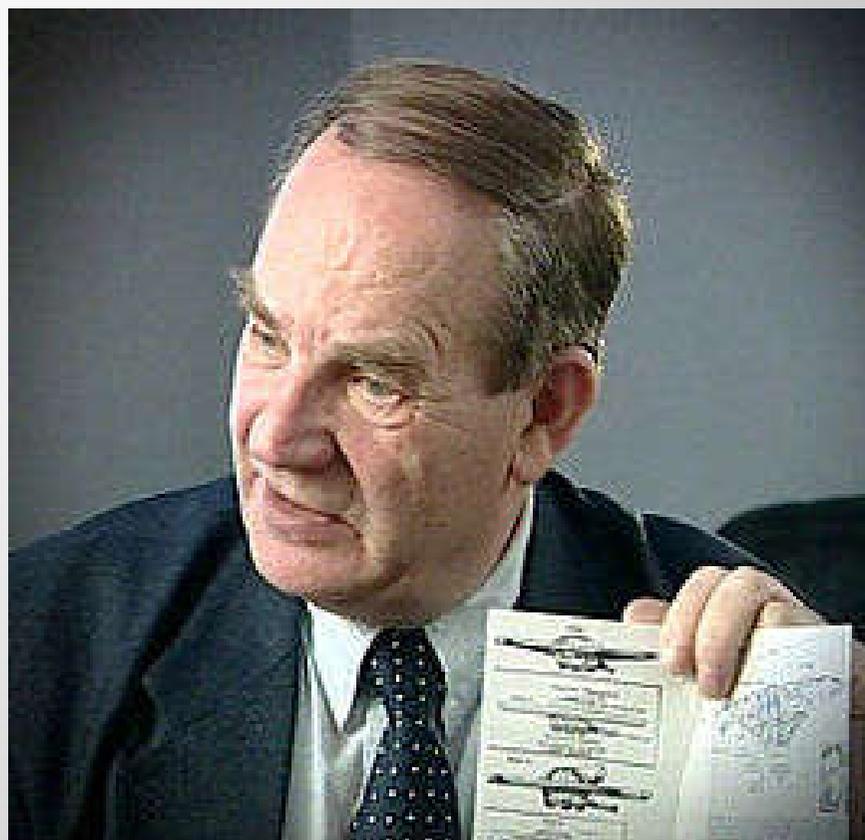


**Рис. 34. Модель межпланетного корабля Ф.А. Цандера (1923).**  
Из «Описания межпланетного корабля системы Ф.А. Цандера» в виде материалов патентной заявки (цитир. по: Цандер Ф.А. Проблемы межпланетных полетов..., 1988. [14, С. 179]).

### **3. В.П. Бурдаков (1934-2014) и другие, Россия.**

Нанотопливо – топливо для перспективных ракетных двигателей (в топливных микрокапсулах, затем - в топливных микрогранулах).  
Предложено в 1995 г. Запатентовано в России в 1999 г. [15].

См. Рис. 35, 36. *Проект не реализован.*



**Рис. 35. Бурдаков Валерий\_Павлович, д.т.н., профессор (1934-2014)**  
[[https://ru.wikipedia.org/wiki/Бурдаков,\\_Валерий\\_Павлович](https://ru.wikipedia.org/wiki/Бурдаков,_Валерий_Павлович)]

# Нанотопливо для перспективных ракет

носителей было предложено в 1995 году и запатентовано в России в 1999 году.

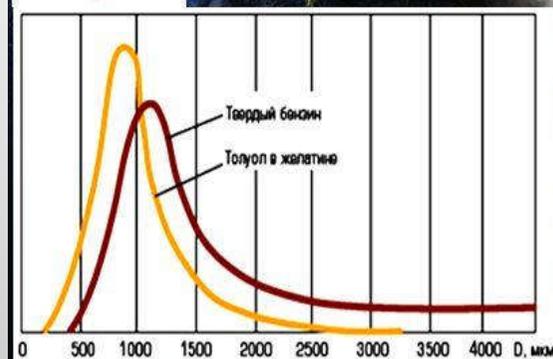
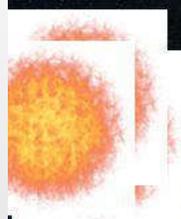


Рис. 36. Нанотопливо на микрогранулах для перспективных ракет

[<http://www.myshared.ru/slide/588771/>]

**4. Ю.Л. Кузнецов** (род. в 1951 г.) и другие, Россия.

Многоразовый крылатый ускоритель 1-й ступени ракеты-носителя (РН), (1994). Патент России (1999) [16].

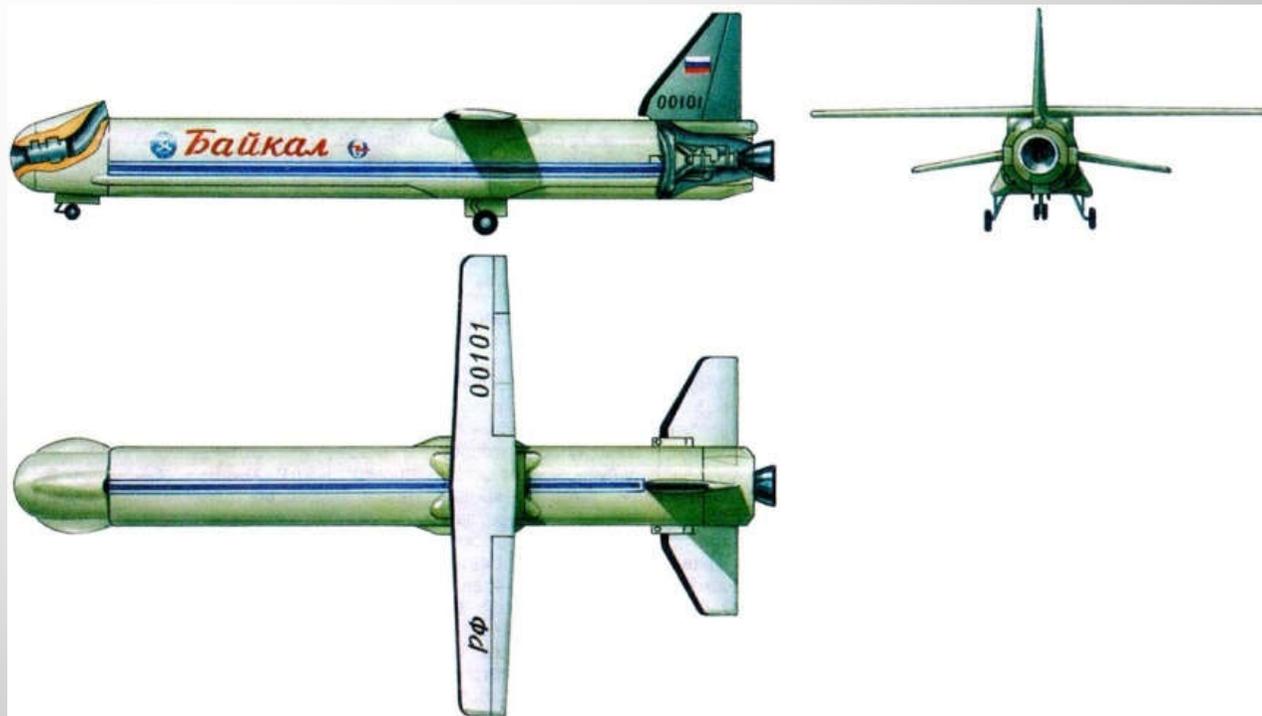
См. Рис. 37, 38. *Проект «Байкал» не реализован.*



**Рис. 37. Кузнецов Юрий Леонидович - профессор, д.т.н.**

**Фото с сайта кафедры 604 МАИ.**

**URL: <https://sites.google.com/site/kaf604/prepodavateli-kafedry/kuznecov-u-1>**



**Рис. 38. Многоразовый крылатый ускоритель 1-й ступени РН -  
МРУ «Байкал» (проект):**

**слева - изображения в 3-х проекциях; справа – фото с выставки**

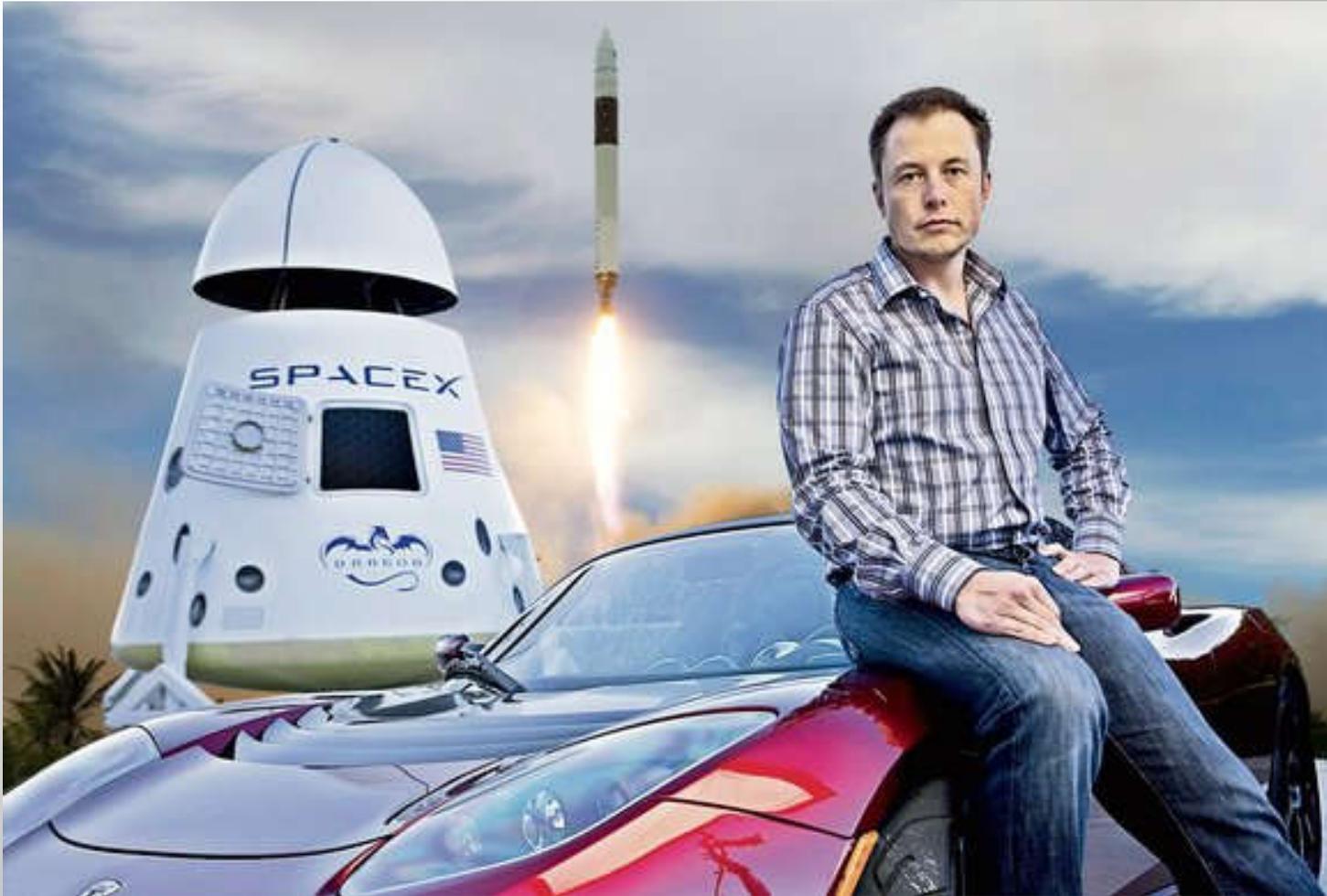
[[https://sdelanounas.ru/i/d/3/d/f\\_d3d3LmJ1cmFuLnJ1L2ltYWdlcy9qcGcvYmFpa2FsMTAuanBn.jpeg](https://sdelanounas.ru/i/d/3/d/f_d3d3LmJ1cmFuLnJ1L2ltYWdlcy9qcGcvYmFpa2FsMTAuanBn.jpeg)]

[Сайт Википедия. <http://encyclopaedia.bid/википедия/Байкал-Ангара>]

**8. Илон Маск** (род. в 1971), инженер, предприниматель, корпорация SpaceX (США).

Многоразовая возвращаемая 1-я ступень РН Falcon 9.  
1-я успешная посадка ступени (2015),  
1-е и успешное повторное применение (2017) [23].

**См. Рис. 39-41.**



**Рис. 39. Илон Маск, инженер, предприниматель и ... мечтатель.**  
[<https://opt-940319.ssl.1c-bitrix-cdn.ru/upload/medialibrary/845/musk-3.jpg?144111192954079>]



**Рис. 40. Корпорация И. Маск SpaceX (США) осуществила успешную посадку первой ступени ракеты-носителя Falcon 9 (21.12.2015 г.).**

[[http://www.oszone.net/28618/spacex\\_successful\\_falcon\\_9\\_rocket\\_landing](http://www.oszone.net/28618/spacex_successful_falcon_9_rocket_landing)]



**Рис. 41. Изображение конструкции посадочного устройства первой ступени ракеты-носителя Falcon 9 в процессе посадки.**

[<http://www.press.lv/wp-content/uploads/2016/04/screenshot.png>]

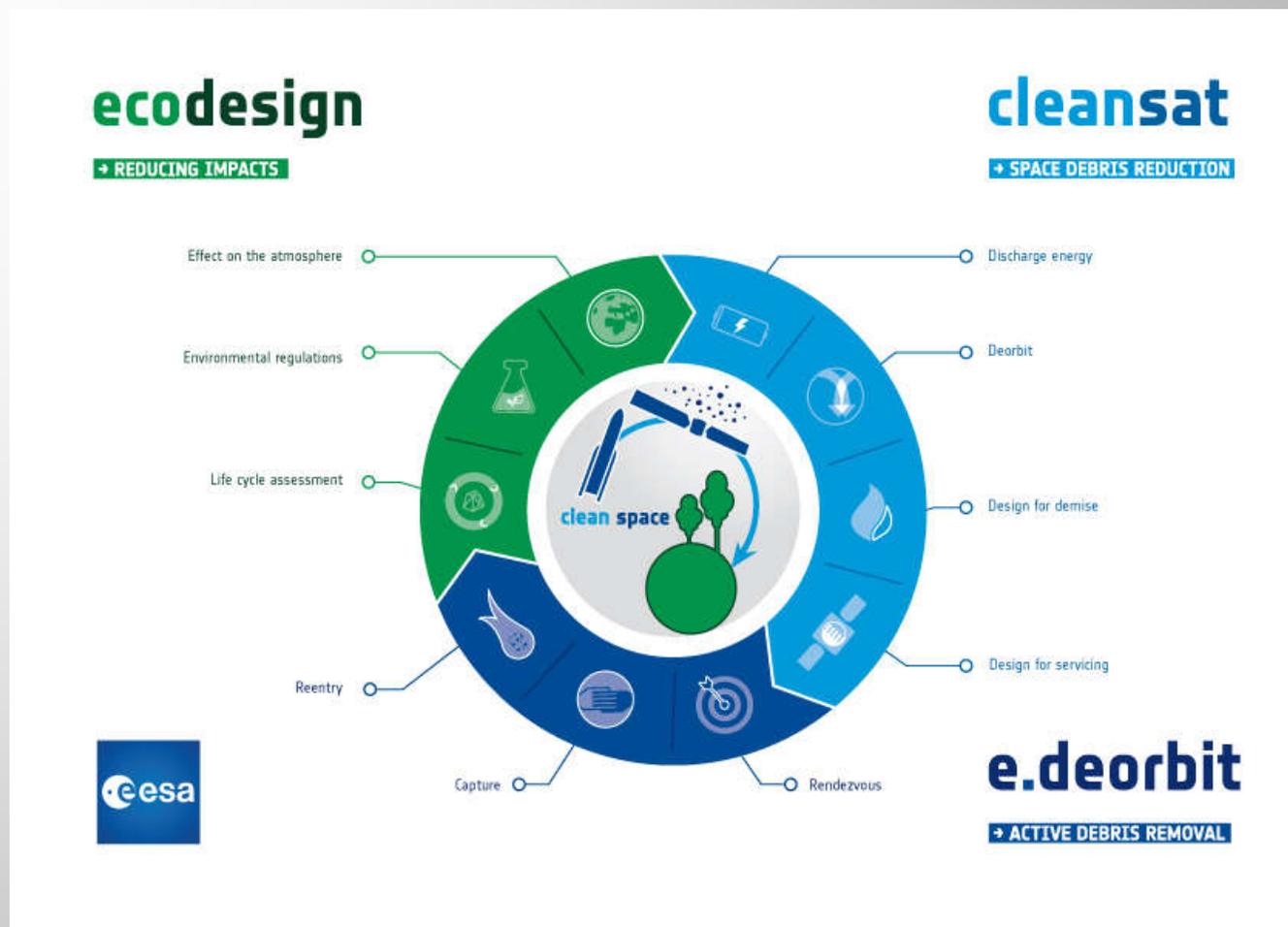
### 3.3. Новые и перспективные экологичные (чистые, зелёные) космические технологии и проекты (примеры):

1. Новые ракетные технологии: новое топливо («зелёное», нетоксичное, нанотопливо и др.), новые двигатели (лазерные, плазменные и др.) и РН, многоразовые возвращаемые ступени, одноступенчатые РН и т.д.
2. Технологии минимизации, переработки отходов, «мусора», очистки ОС.
3. Нерактивные, неракетные технологии полетов, перемещения в космосе на новых физических принципах, в перспективе - на основе гравитационных, квантовых и др. эффектов.
4. Бесшумные (вне и внутри) ЛА.
5. «Безотходные» ЛА в атмосфере и космосе.
6. Чистый полный жизненный цикл космической техники и КД.
7. Принципиально новые технологии обеспечения жизнедеятельности и безопасности людей в космосе.
8. Космический лифт Земля – Луна, тросовые системы и др.
9. Мега-проекты управления переходом космической отрасли к НДТ, чистым, «зелёным» технологиям (пример: Clean Space Initiative - Инициатива Чистый Космос в ESA (ЕС) с 2013 г. [24], - см. Рис. 42, 43).

*Список открыт для дополнений.*



**Рис. 42. Clean Space (Чистый Космос) ESA** (Clean Space // ESA. URL: [http://www.esa.int/Our\\_Activities/Space\\_Engineering\\_Technology/Clean\\_Space](http://www.esa.int/Our_Activities/Space_Engineering_Technology/Clean_Space) [24]). Скриншот. 16.09.2017 г.



**Рис. 43. Clean Space infographic** (Clean Space // ESA. URL: [http://blogs.esa.int/cleanspace/wp-content/blogs.dir/39/files/clean-space-infographic/Updated-infographic\\_ESA-logo.jpg](http://blogs.esa.int/cleanspace/wp-content/blogs.dir/39/files/clean-space-infographic/Updated-infographic_ESA-logo.jpg) [24]). Скриншот. 16.09.2017 г.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ. ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ**

1. Проблема отходов КД и управления ими является актуальной, сложной и глобальной.
2. Отходы КД имеют ряд особенностей, которые обусловлены свойствами технологий, техники, деятельности.
3. Необходимо знать, понимать и решать проблему отходов КД для повышения эффективности сферы КД и перехода к устойчивому развитию.
4. Рассмотрены исторические и современные практические аспекты и примеры отходов КД, их классификация, структура, экотоксичность, тенденции.
5. Система управления отходами КД малоэффективна и нуждается в совершенствовании.
6. Приведены важные примеры экологичных космических технологий, проектов XX-XXI вв.
7. Предложен список новых и перспективных экологичных космических технологий, проектов, направленных на переход к чистой и зеленой КД.
8. Стратегическое направление управления отходами КД – активная экологизация РКТ и КД, переход к новому, чистому и зеленому технологическому укладу.
9. В России и мире разработано множество готовых экологичных космических технологий и проектов КД, но процессом перехода к ним необходимо управлять.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое космическая деятельность (КД) и что относится к отходам КД?
2. Каковы основные причины образования отходов КД на Земле и в Космосе?
3. Почему проблема отходов КД является актуальной и глобальной, и какие неблагоприятные последствия могут наступить, если ее решить?
3. Каким образом следует решать проблему космического мусора в околоземном космическом пространстве?
4. Как в идеале можно решить проблему образования отходов КД на полном жизненном цикле?
5. Как организована система управления отходами КД в России и мире и что в ней необходимо менять для решения проблемы?
6. Какие принципиально новые технологии и проекты могут решить проблему отходов КД?

## ЛИТЕРАТУРА И ИСТОЧНИКИ

1. Закон РФ от 20 августа 1993 г. № 5663-1 "О космической деятельности" (с изменениями и дополнениями).
2. Федеральный закон "Об отходах производства и потребления" от 24.06.1998 № 89-ФЗ (последняя редакция).
3. Федеральный закон Российской Федерации от 21 июля 2014 г. № 219-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон "Об охране окружающей среды" и отдельные законодательные акты Российской Федерации».
4. Указ Президента РФ от 19 апреля 2017 г. № 176 «О Стратегии экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года».
5. Циолковский К.Э. Ракета в космическое пространство. Калуга, 1924. 32 с.
6. Власов М.Н., Кричевский С.В. Экологическая опасность космической деятельности: Аналитический обзор / Отв. ред. А.В. Яблоков. М.: Наука, 1999. 240 с. : ил.
7. Михайлов В.П. Ракетные и космические загрязнения: история происхождения / Предисл. и науч. ред. - В.С. Авдуевский. М.: ИИЕТ РАН, 1999. 238 с.
8. Михайлов В.П. Ракетные и космические загрязнения Земли: зарождение тенденций / Предисл. и науч. ред. - В.С. Авдуевский. М.: ИИЕТ РАН, 1999. 238 с.
9. 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.: Изд-во Анкил, 2000. 640 с.
10. Кричевский С.В. Экологическая история техники (методология, опыт исследований, перспективы): Монография. М.: ИИЕТ РАН, 2007. 160 с.
11. Воздействие космической деятельности на окружающую среду. Документ ООН A/АС.105/420 от 15 декабря 1988 г.

12. *Кричевский С.В.* «Зеленая» космонавтика для будущего человечества // Земля и Вселенная. 2014. № 6. С. 34-42.
13. *Клюшников В.Ю.* Состояние проблемы изучения воздействия ракетно-космической техники на окружающую среду // Труды I Всероссийской научной конференции «Экология и космос» имени академика К.Я. Кондратьева. Под общ. ред. М. М. Пенькова. СПб, 2014. С. 470-484.
14. *Цандер Ф.А.* Проблемы межпланетных полетов. М.: Наука, 1988. 232 с.
15. *Бурдаков В.П.* Моно? Нано! // Российский космос. 2010. № 10. С. 24-27.
16. Пат. 2148536 Российская Федерация, МПК В64G1/14. Многоразовый ускоритель первой ступени ракеты-носителя / Киселев А.И., Кузнецов Ю.Л., Медведев А.А. и др.; заявители и патентообладатели: ГКНТЦ им. М.В. Хруничева, ОАО НПО «Молния»; заявл. 26.10.1999; опубл. 10.05.2000. Бюл. № 13. 17 с.
17. *Klyushnikov V.* Green cosmonautics – an ideal to strive for // ROOM: The Space Journal (Aerospace International Research Center. Vienna, Austria). 2015. № 3. P. 71-74.
18. *Кричевский С.В.* Когда космос «позеленеет» // Новая газета. № 37. 10 апреля 2017 г. [Электронный ресурс]: URL: <https://www.novayagazeta.ru/articles/2017/04/10/72096-kogda-kosmos-pozeleneet>
19. Утверждены основы государственной политики в области экологического развития России на период до 2030 года // Сайт Президент России. 30 апреля 2012 года. [Электронный ресурс]: офиц. сайт. URL: <http://news.kremlin.ru/news/15177>
20. Основные положения «Основ государственной политики Российской Федерации в области космической деятельности на период до 2030 года и дальнейшую перспективу», утвержденные Президентом Российской Федерации от 19 апреля 2013 г. № Пр-906.

21. Государственная корпорация по космической деятельности РОСКОСМОС [Электронный ресурс]: офиц. сайт. URL: <https://www.roscosmos.ru>
22. NASA (США) [Электронный ресурс]: офиц. сайт. URL: <https://www.nasa.gov>
23. SpaceX (США) [Электронный ресурс]: офиц. сайт. URL: <http://www.spacex.com>
24. Clean Space / Green technologies // ESA. [Электронный ресурс]: URL: [http://www.esa.int/Our\\_Activities/Space\\_Engineering/Clean\\_Space/Green\\_technologies](http://www.esa.int/Our_Activities/Space_Engineering/Clean_Space/Green_technologies)
25. Руководящие принципы Комитета по использованию космического пространства в мирных целях по предупреждению образования космического мусора // Конвенции и соглашения. ООН. [Электронный ресурс]: ]: офиц. сайт. URL: [http://www.un.org/ru/documents/decl\\_conv/conventions/space\\_debris.shtml](http://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/space_debris.shtml)

**(С) Кричевский С.В., 2018.**



**Д. Образ Новой реальности к 60-летию Космической эры:  
Космический мусор — естественный спутник Земли**

[<http://classpic.ru/blog/den-kosmonavtiki-32-foto.html>]



## **Е. ОБРАЗ БУДУЩЕГО: ПЕРСПЕКТИВЫ БЕЗОТХОДНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ ЭРЫ**

[<http://classpic.ru/blog/den-kosmonavtiki-32-foto.html>]



ИНСТИТУТ  
ИСТОРИИ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ И ТЕХНИКИ  
ИМЕНИ С.И. ВАВИЛОВА РАН



**БЛАГОДАРЮ ВАС ЗА ВНИМАНИЕ!**