

**Международная Байкальская молодежная
научная школа по фундаментальной физике**

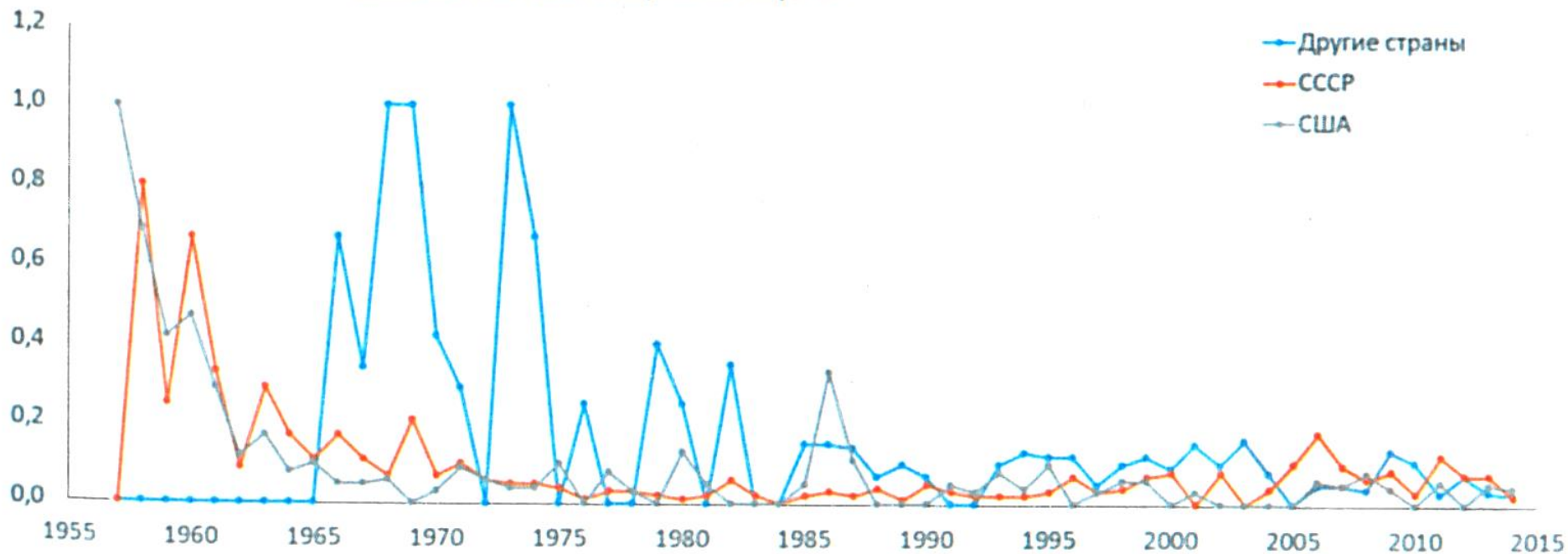
Г. А. Жеребцов

**Экологические проблемы
околоземного космического пространства –
техногенное засорение**

**XV Конференция молодых ученых
«Взаимодействие полей и излучения с веществом»**

Иркутск, 11–16 сентября 2017 г.

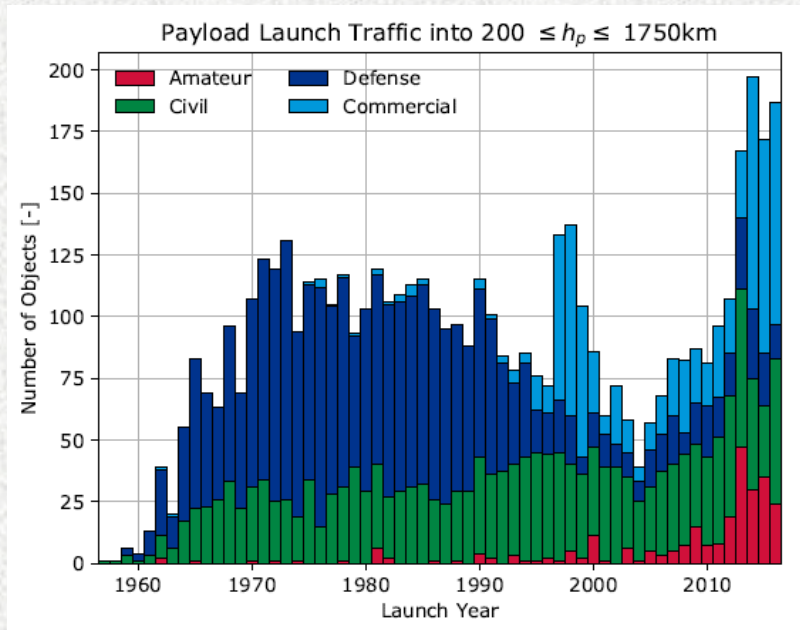
Относительное число аварийных запусков



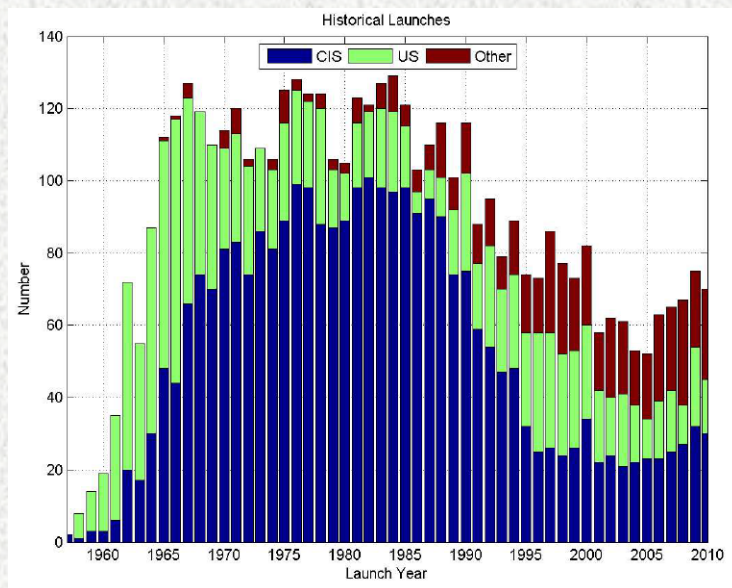
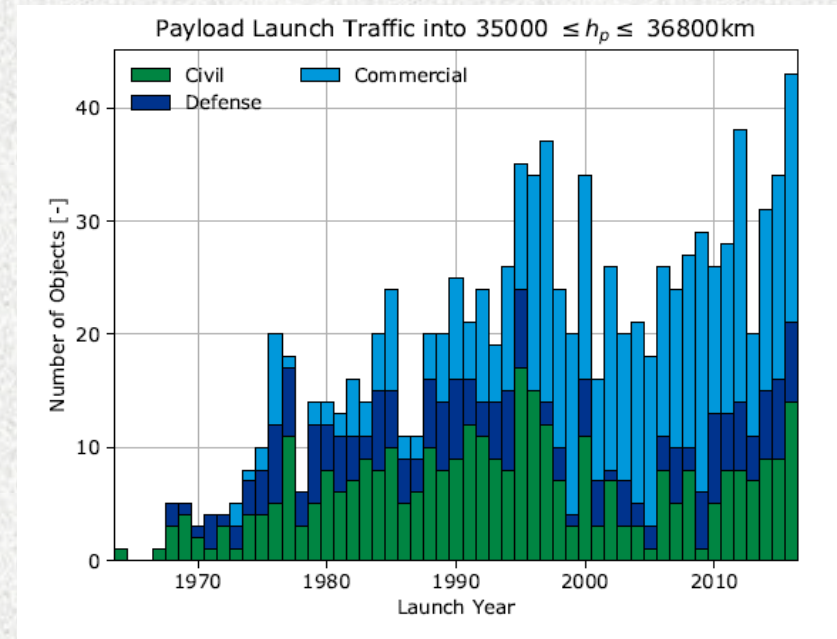
Относительное количество неудачных запусков с 1957 по 2014 год в СССР/России, США и других странах

Количество запусков

На низкие орбиты



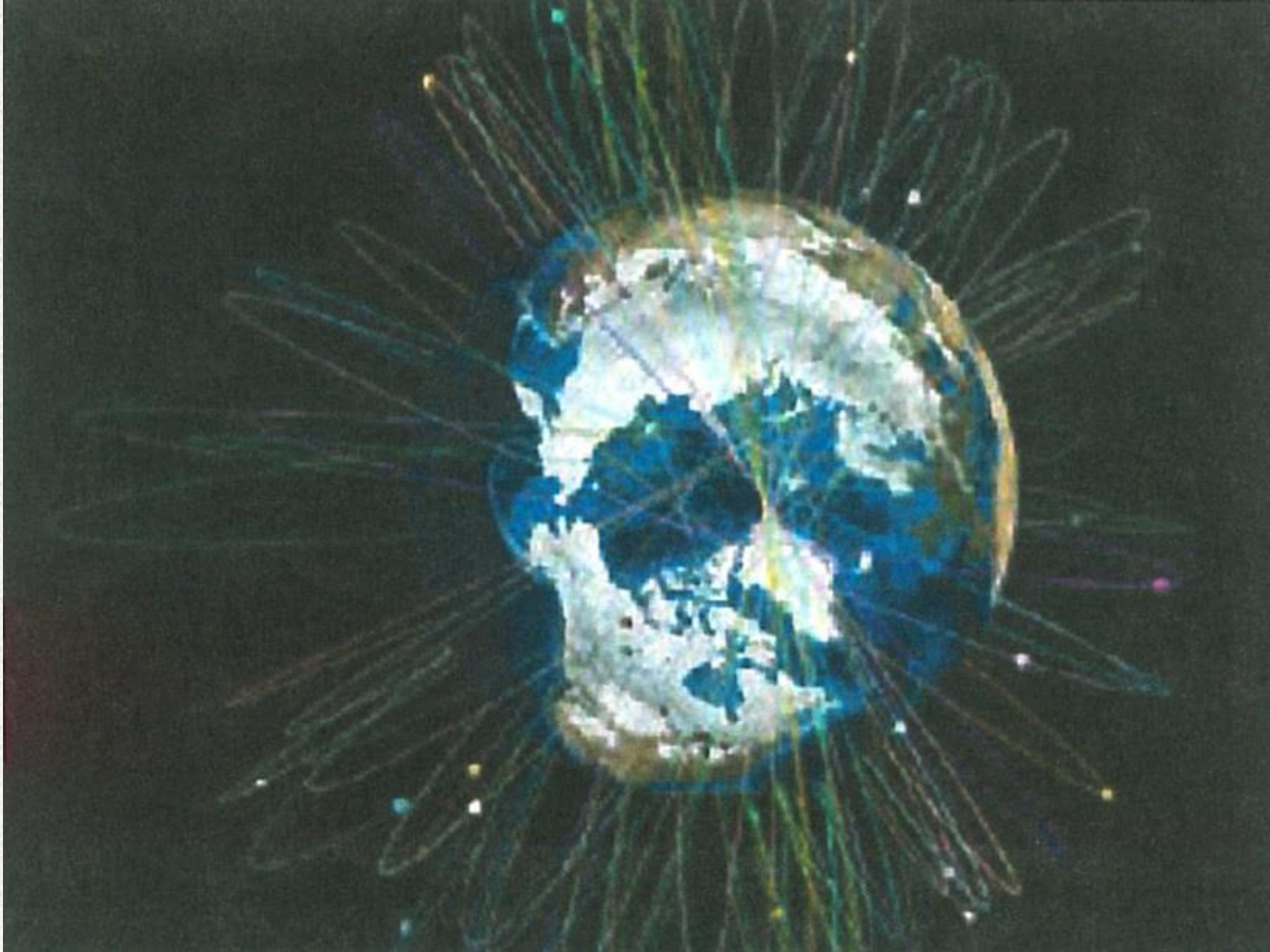
На ГСО



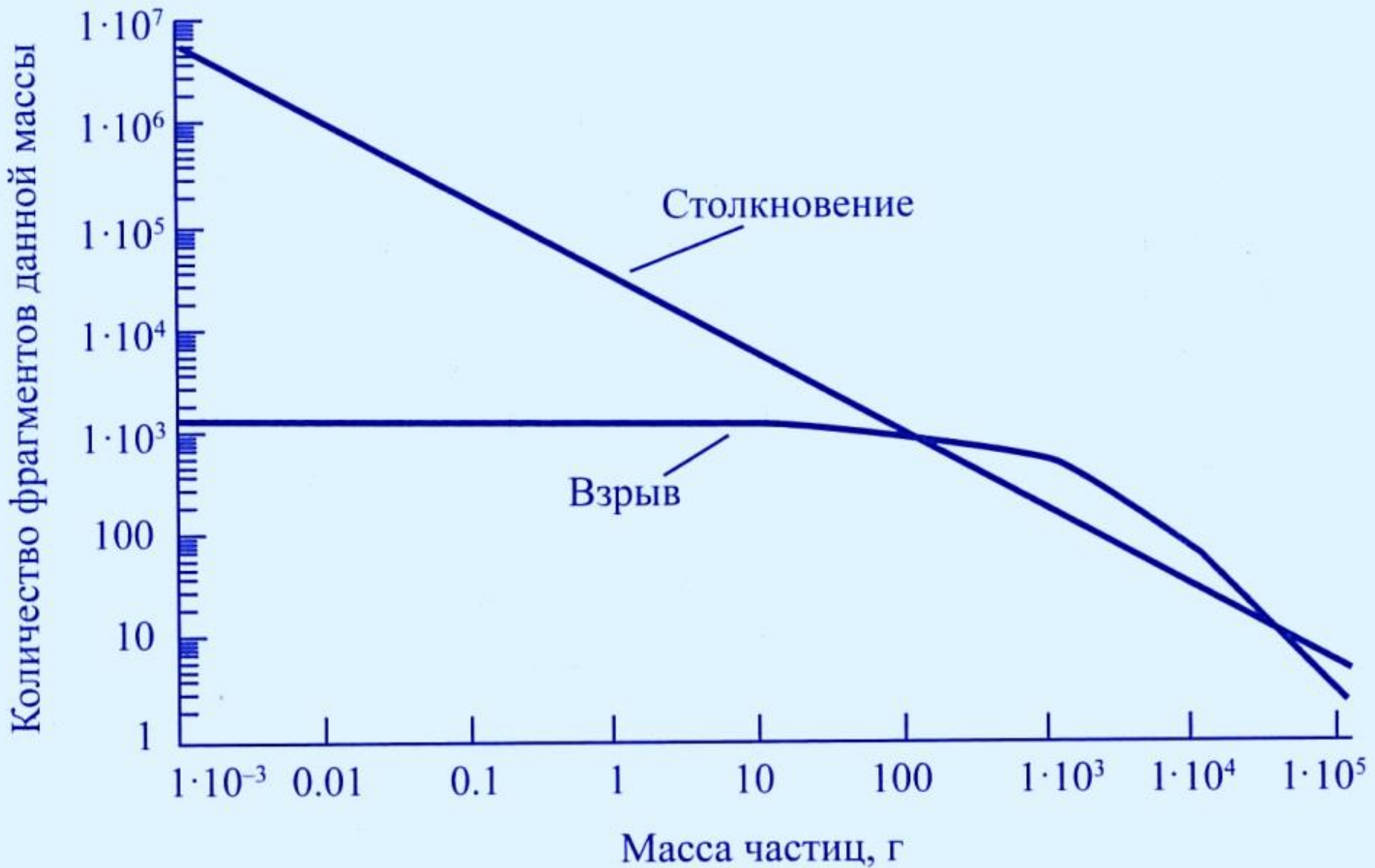
По странам



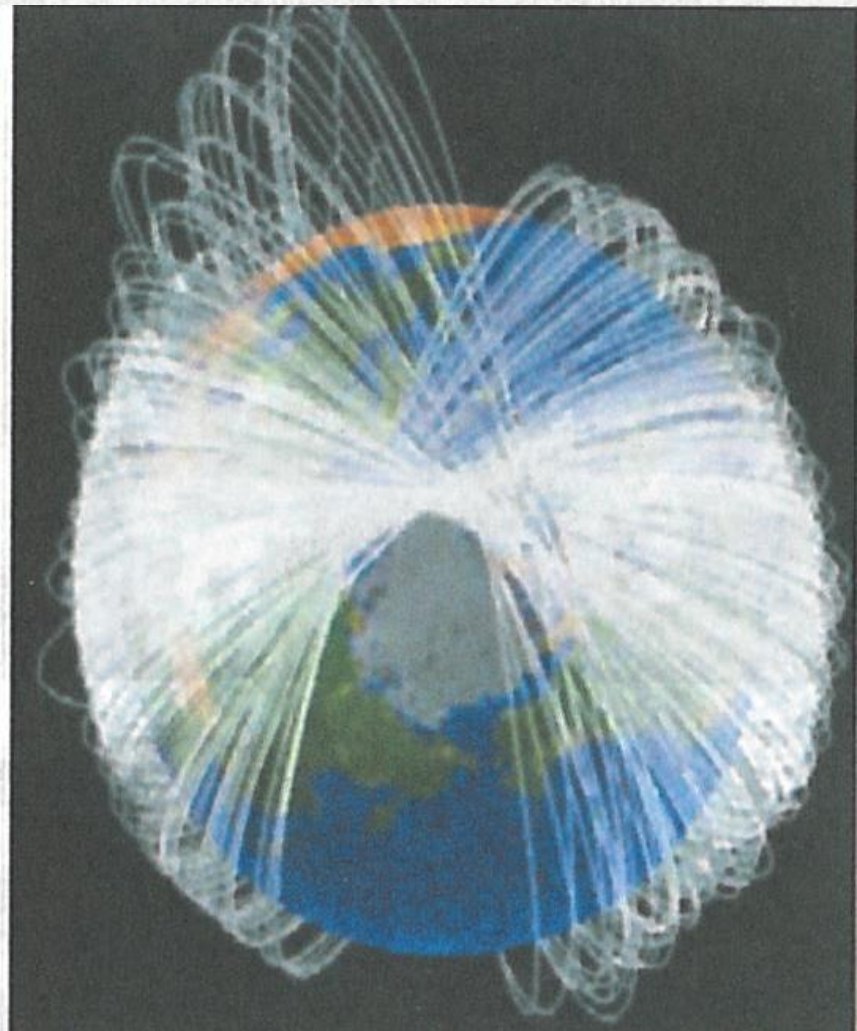
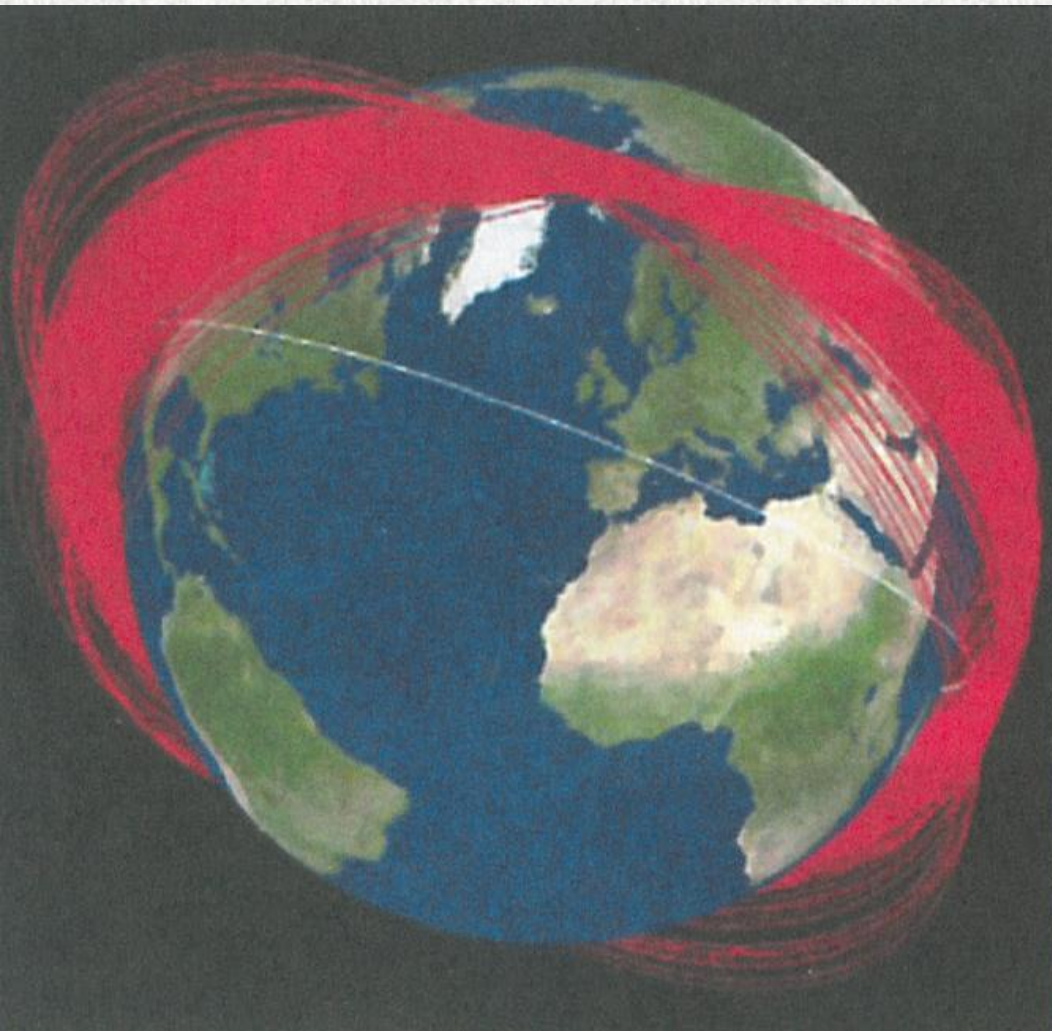
Классификация КО в ОКП



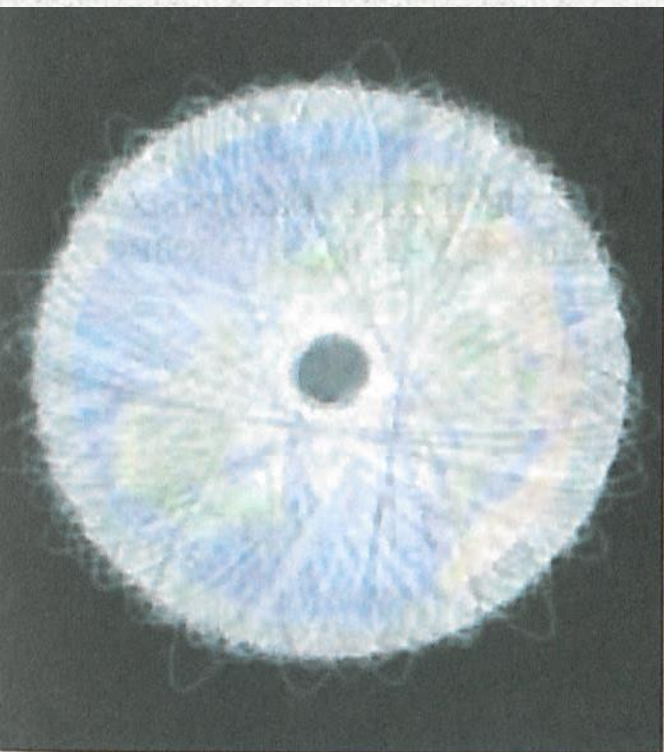
Распределение орбит кластеров иголок проекта «Вестфорд» по данным каталога КО СККП США на октябрь 2013 г.



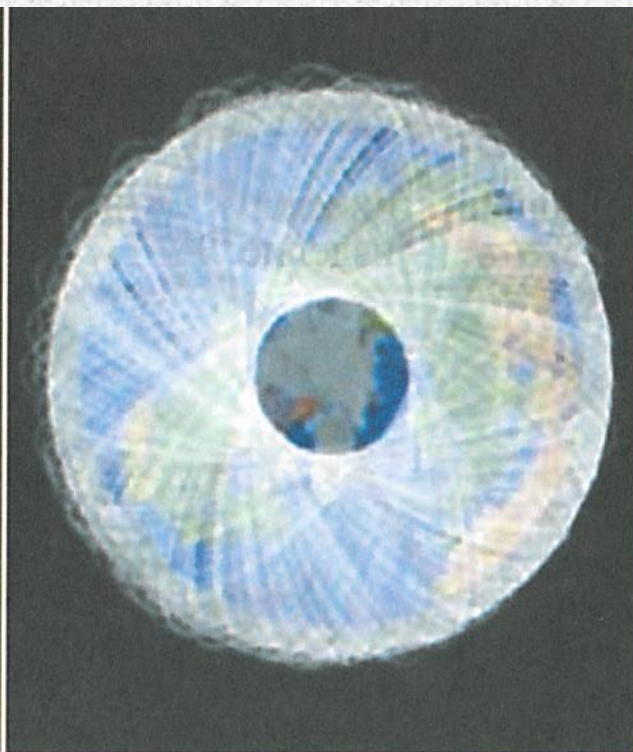
Сравнение выхода фрагментов различных размеров в результате взрыва и сверхзвукового столкновения



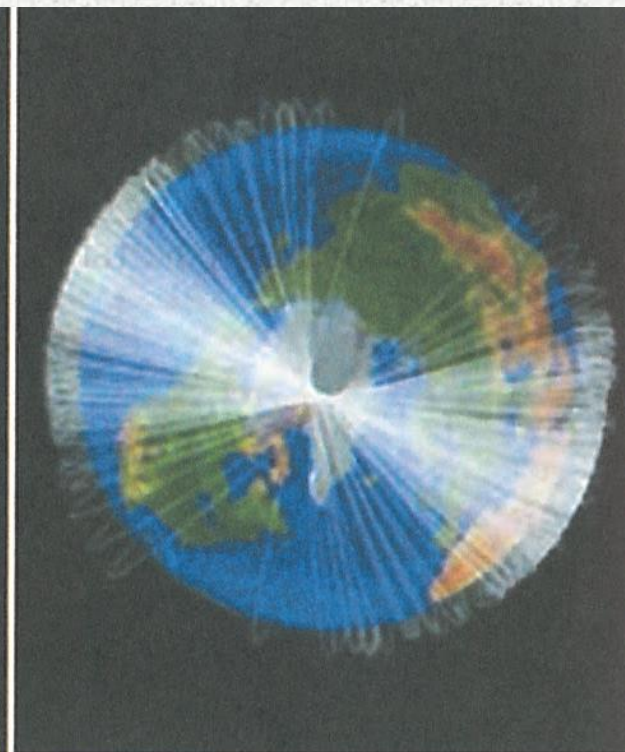
Эволюция орбит осколков от разрушения ИСЗ «Фенгюн-1С» за 6 месяцев



Фенгюнь-1С



Космос 2251



Иридиум 33

Эволюция орбит осколков трех КА к июлю 2012 г.

Состав каталога КО СККП США на 1.10.2014/2.07.2014 г.

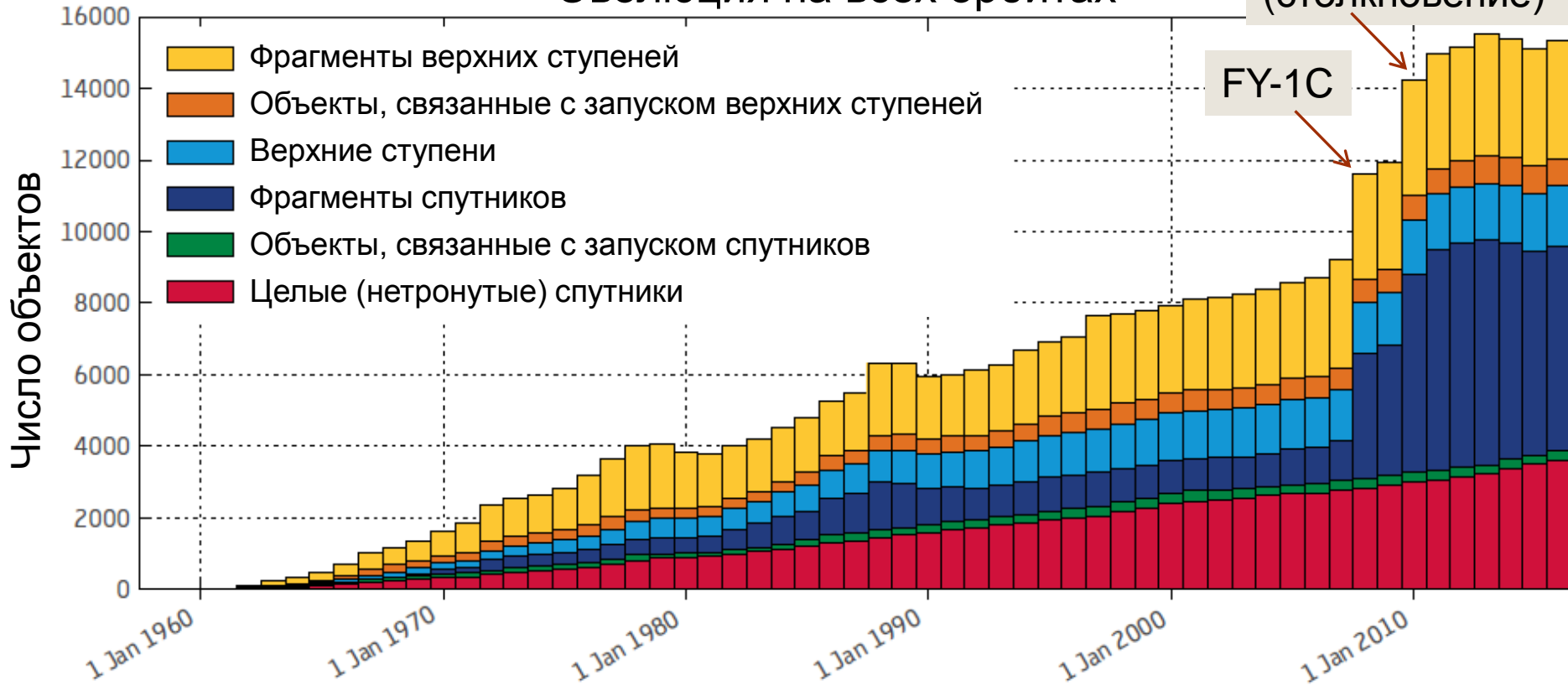
Страна/организация	Полезный груз	РН и КМ	Общее количество
Китай	166/158	3619/3558	3785/3716
СНГ	1450/1445	4935/4935	6385/6380
ЕКА	50/47	46/46	96/93
Франция	60/59	445/447	505/506
Индия	55/55	119/120	174/175
Япония	130/133	72/80	202/213
США	1248/1228	3780/3780	5028/5008
Другие страны	698/687	121/122	819/809
Общее количество	3857/3812	13137/13088	16994/16900

Состав каталога КО СККП США на 1.10.2014/2.07.2014

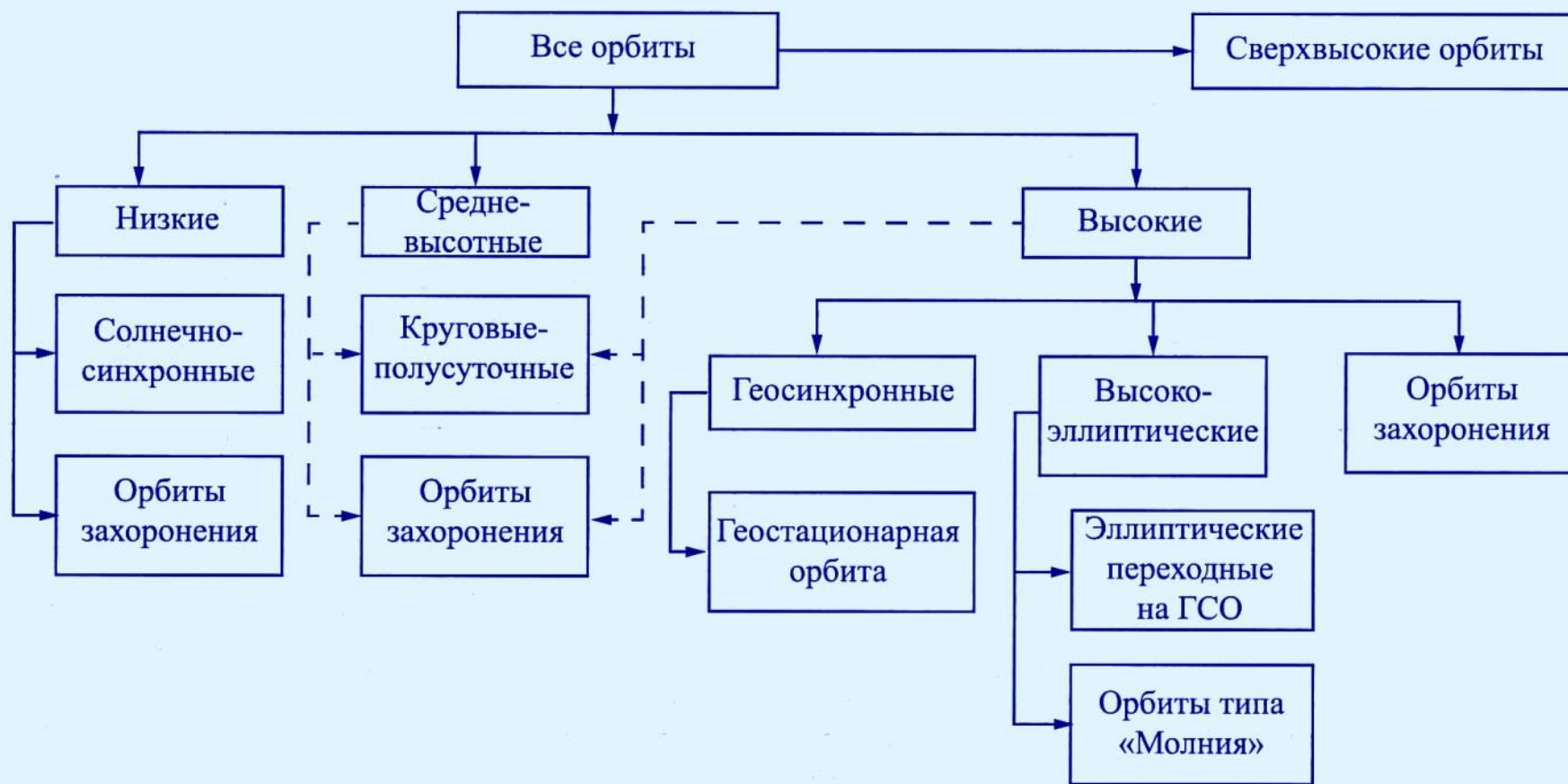


Рост техногенной засоренности ОКП за весь период освоения космоса

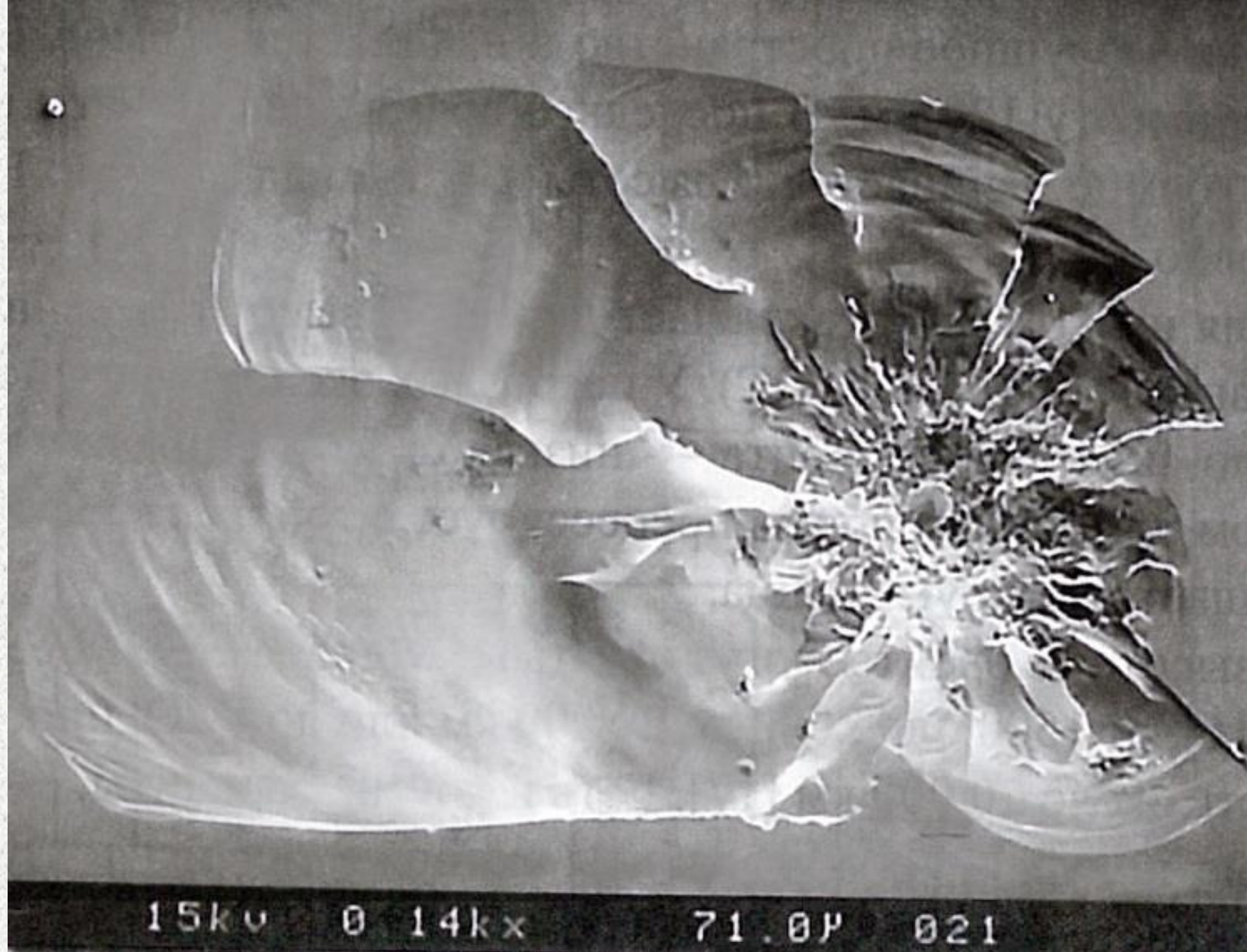
Эволюция на всех орбитах



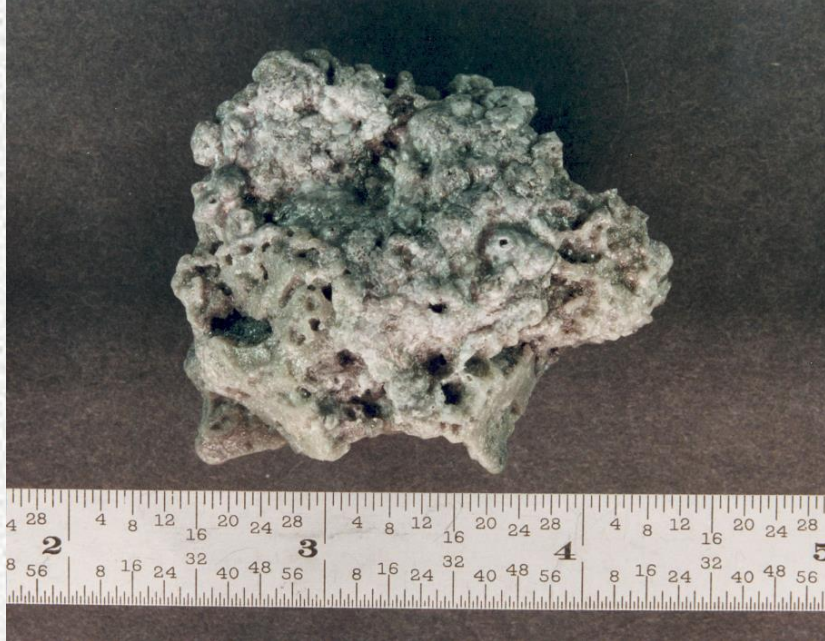
Изменение числа контролируемых околоземных космических объектов по типам(на январь 2017). (European Space Agency, http://www.esa.int/Our_Activities/Operations/Space_Debris)



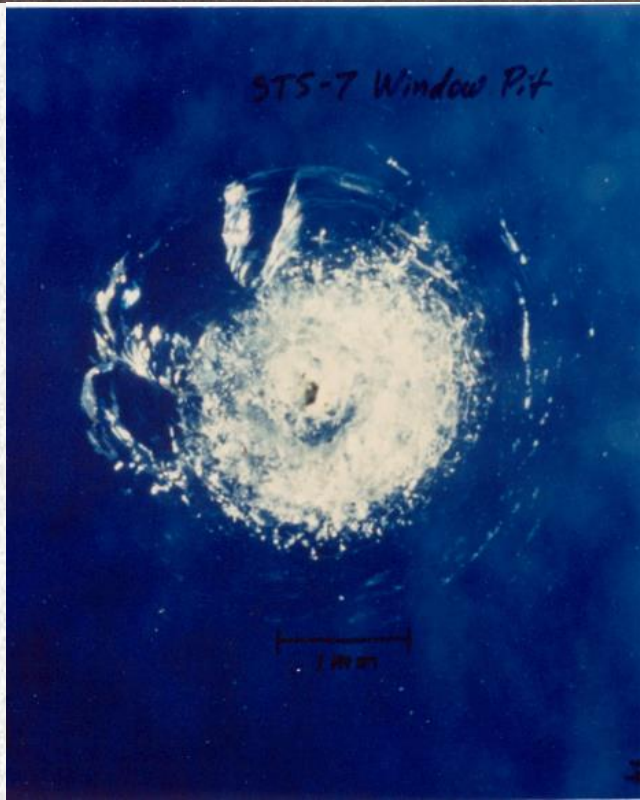
Классификация орбит КО в ОКП



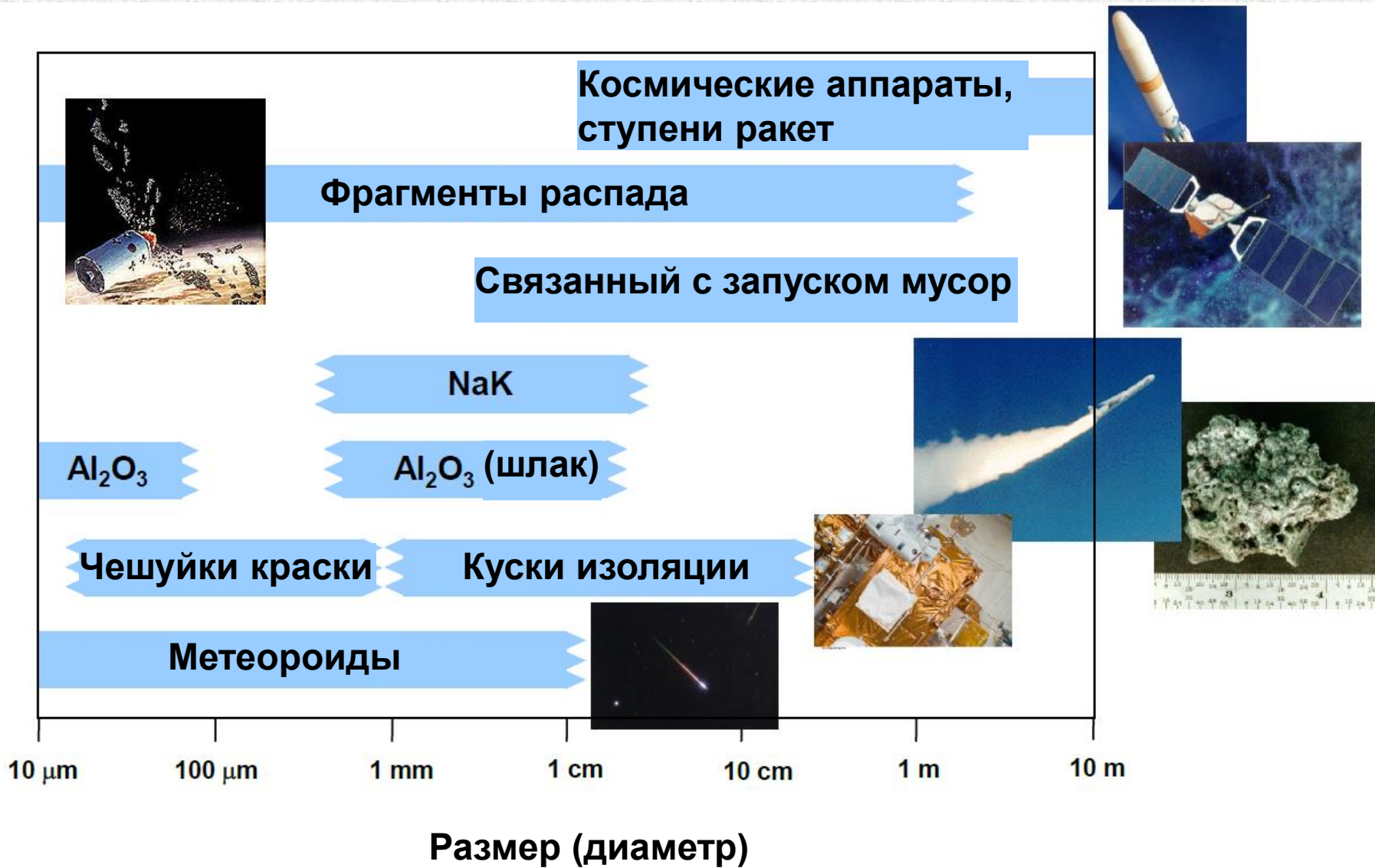
Кратер на иллюминаторе № 6 Шаттла STS-50 от удара частицы, выброшенной из сопла твердотопливного двигателя



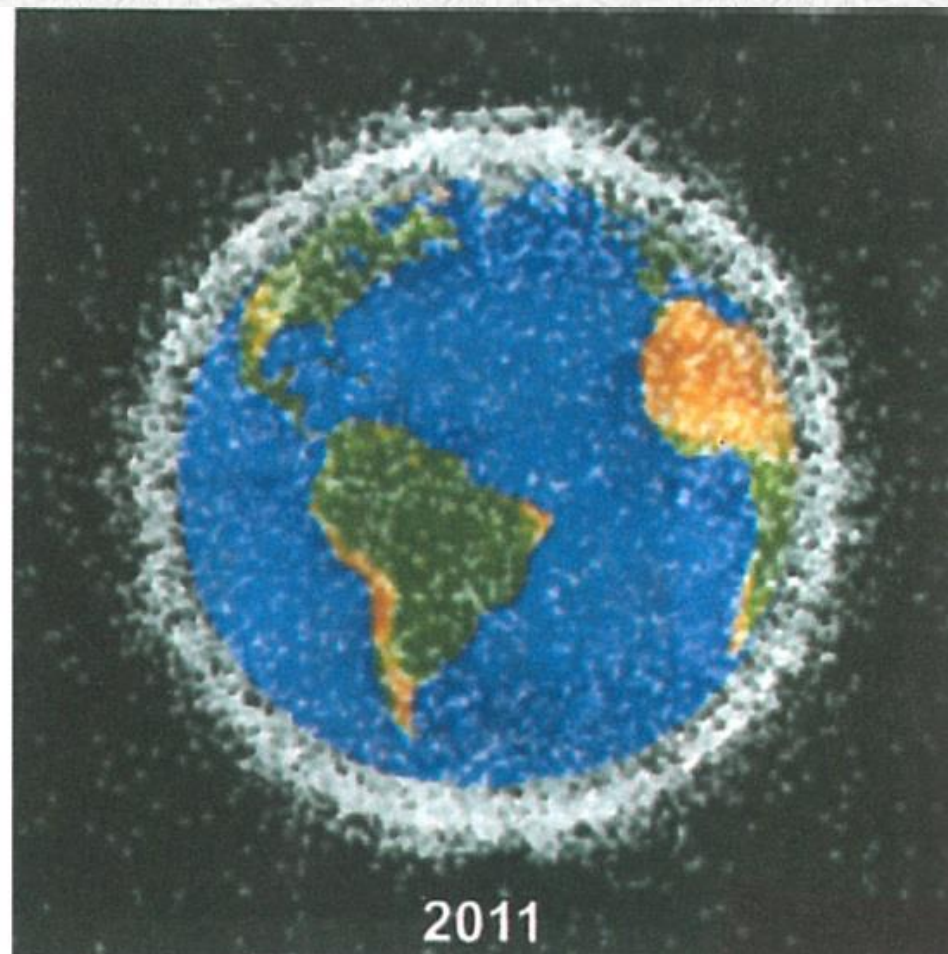
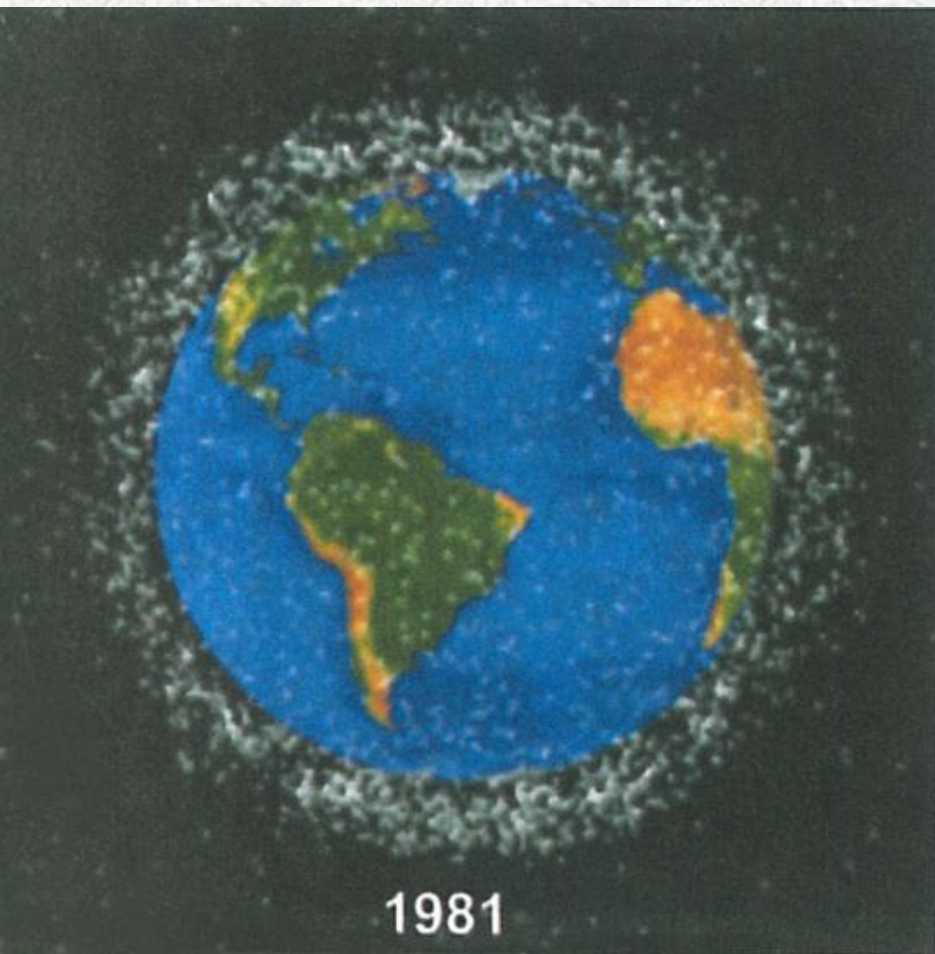
Частицы окалины от двигателей твердотопливных ракет. Состав: оксида алюминия. Двигатели твердотопливных ракет, используемые для выведения спутников на более высокие орбиты, являются одним из основных источников орбитальных фрагментов около 1 см.
*Credit: NASA **Orbital Debris Program Office.***



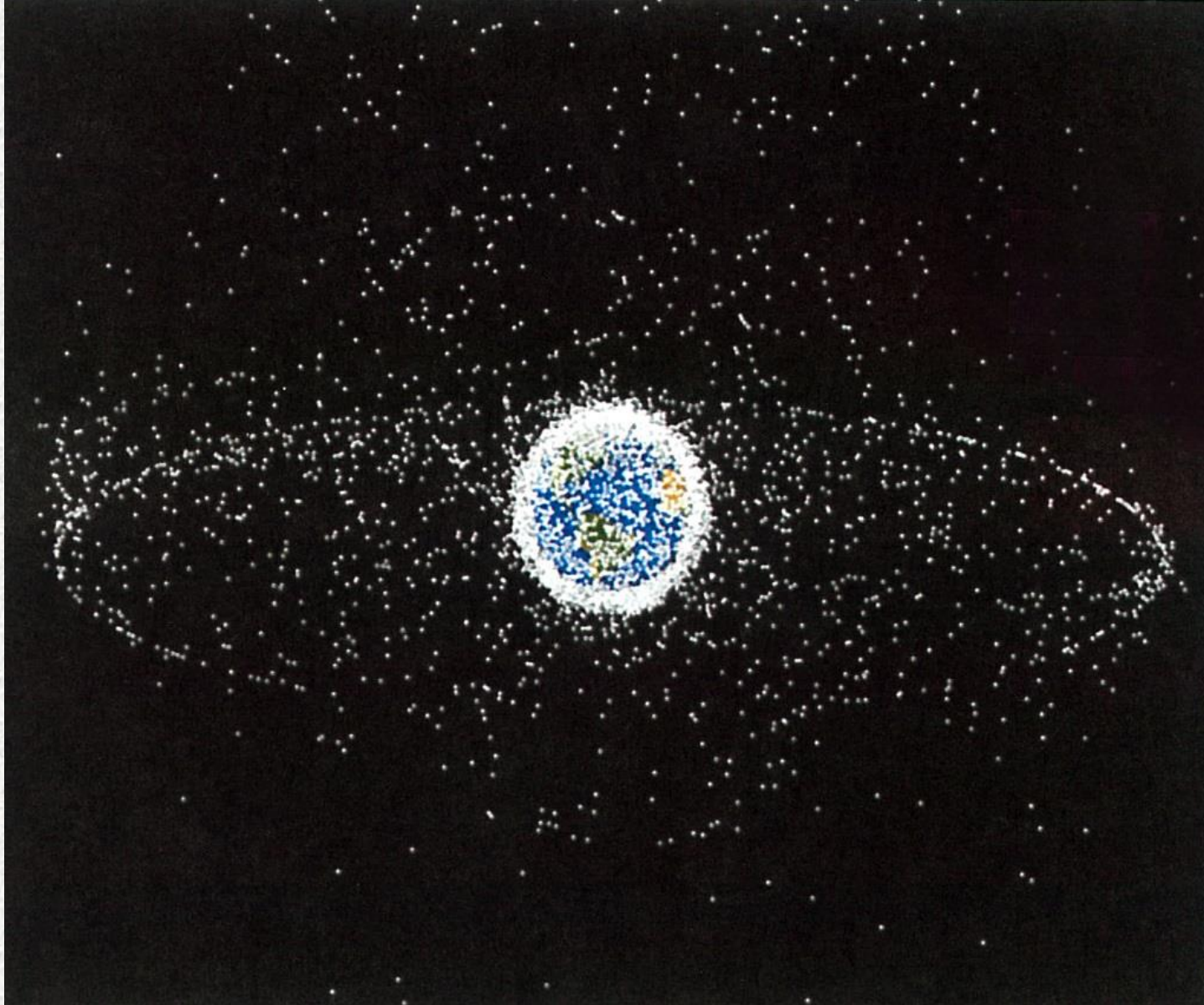
Кратер на окне Шаттла STS-7.
Источник размером от 0,1 мм до 0,15 мм (оксид алюминия).
*Credit: NASA **Orbital Debris Program Office.***



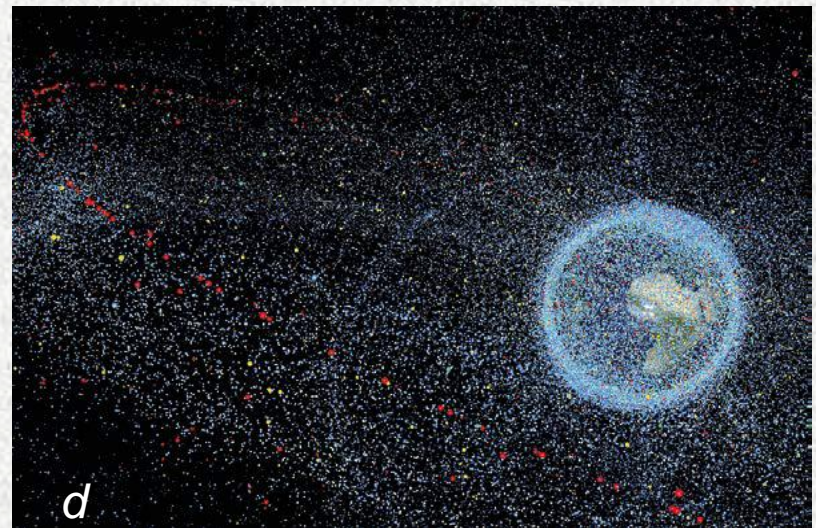
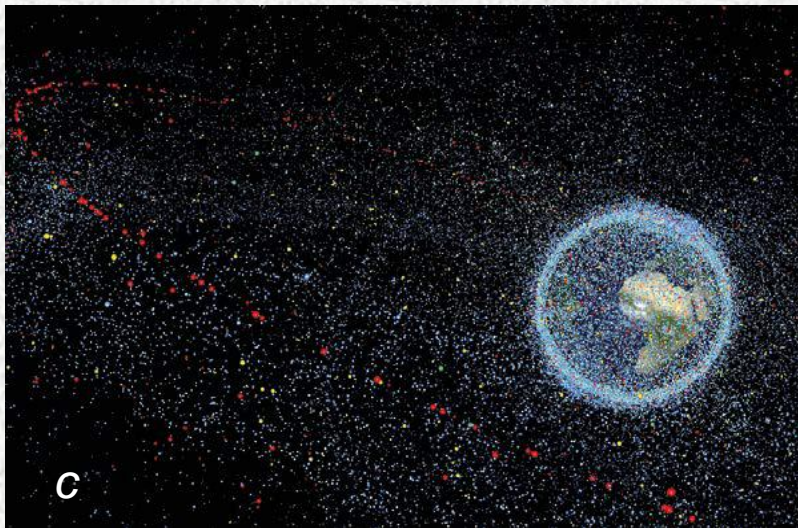
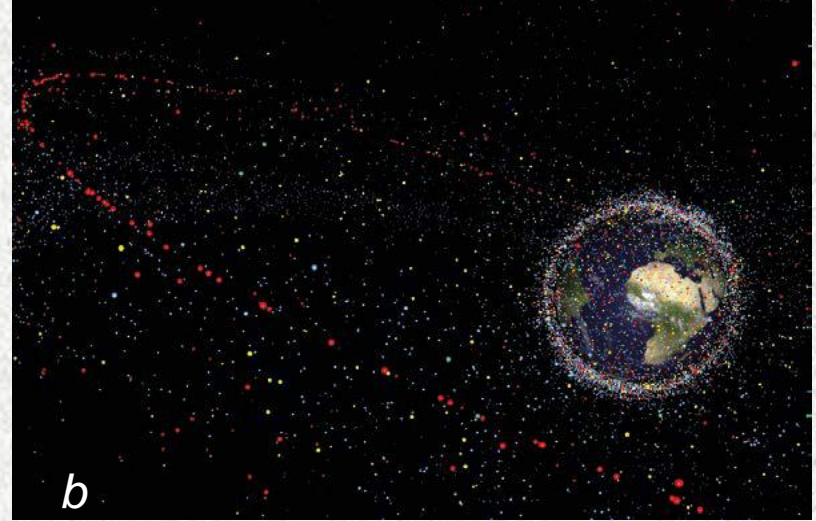
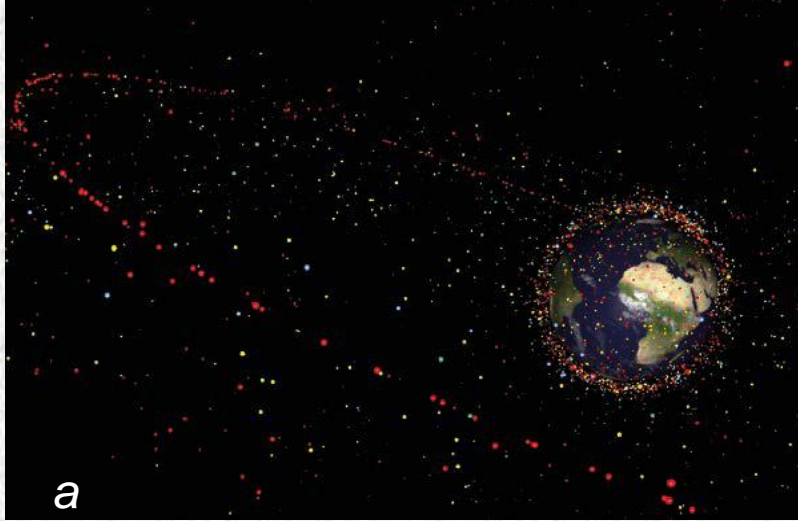
Credit: NASA Orbital Debris Program Office



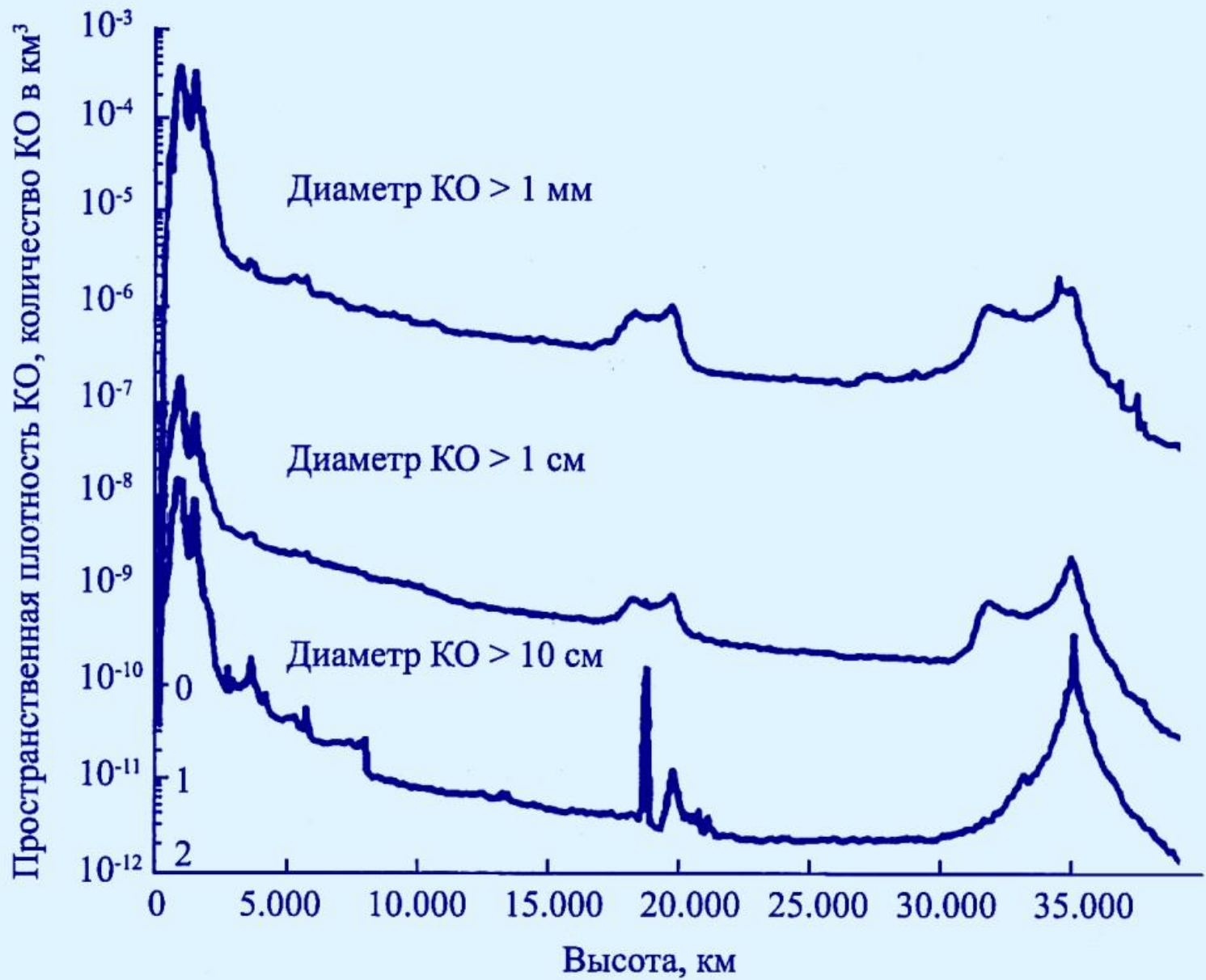
Прогресс засорения ближайшего космоса в части крупного КМ за 30 лет



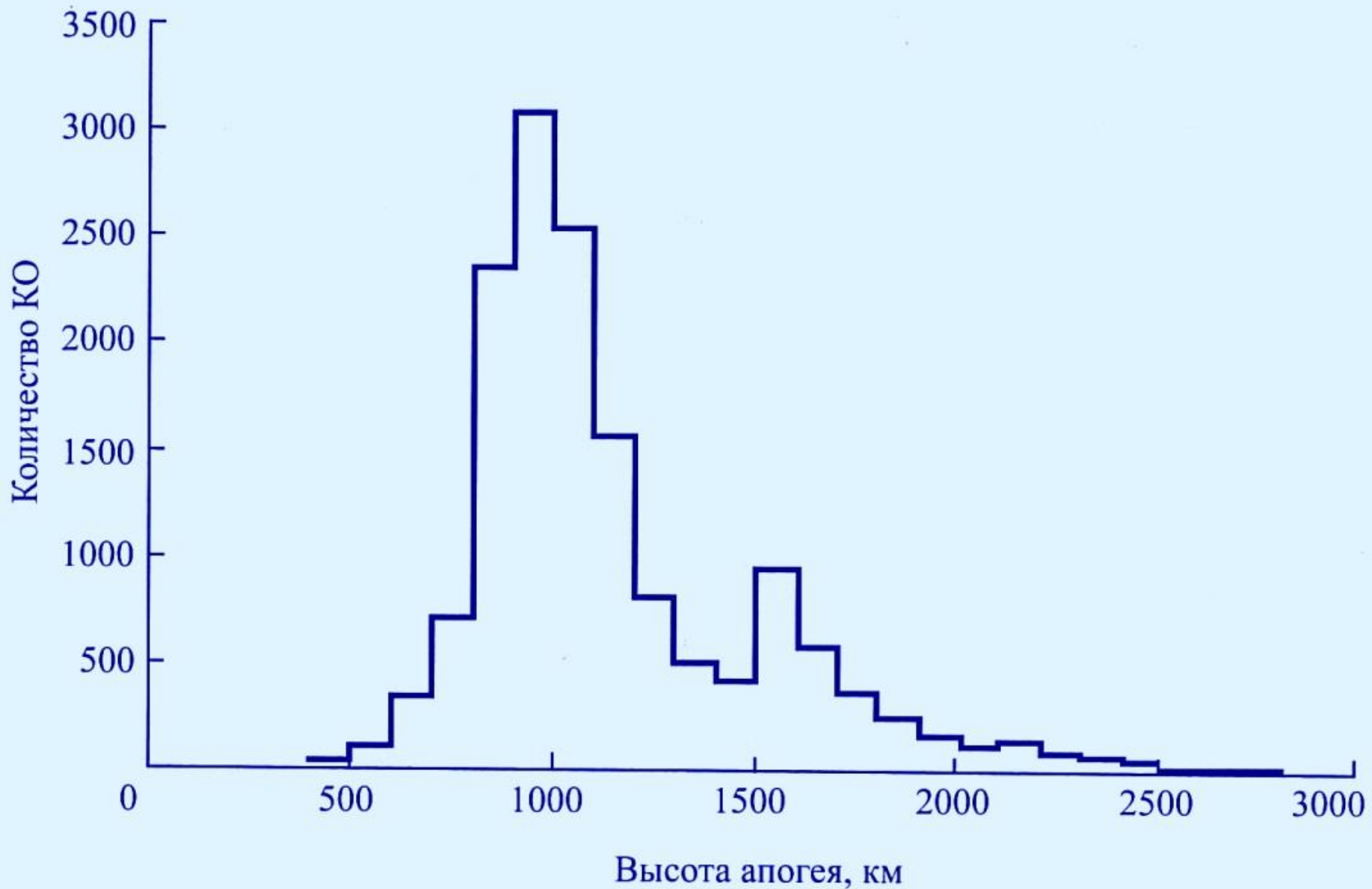
Общая картина техногенного засорения ОКП крупными объектами
(в центре – Земля, белыми точками обозначены каталогизированные КО)



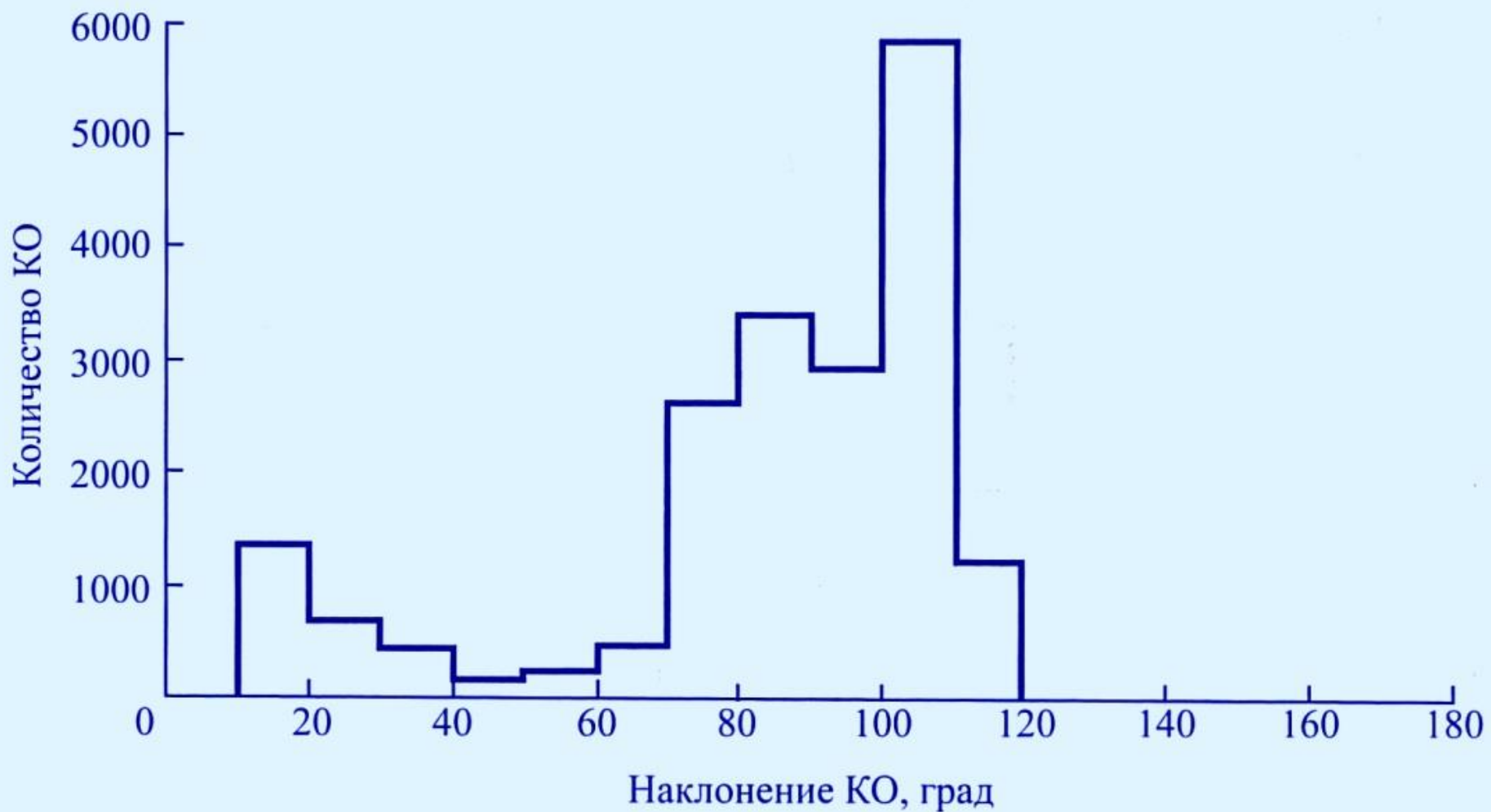
Модельное представление популяции космического мусора для объектов >1 m (a), > 10 cm (b), >1 cm (c), and >1 mm (d). Красным: целые КА (действующие и недействующие), жёлтым: верхние ступени, зелёным: объекты, связанные с осуществлением полётов, голубым: фрагменты. (European Space Agency, http://www.esa.int/Our_Activities/Operations/Space_Debris)



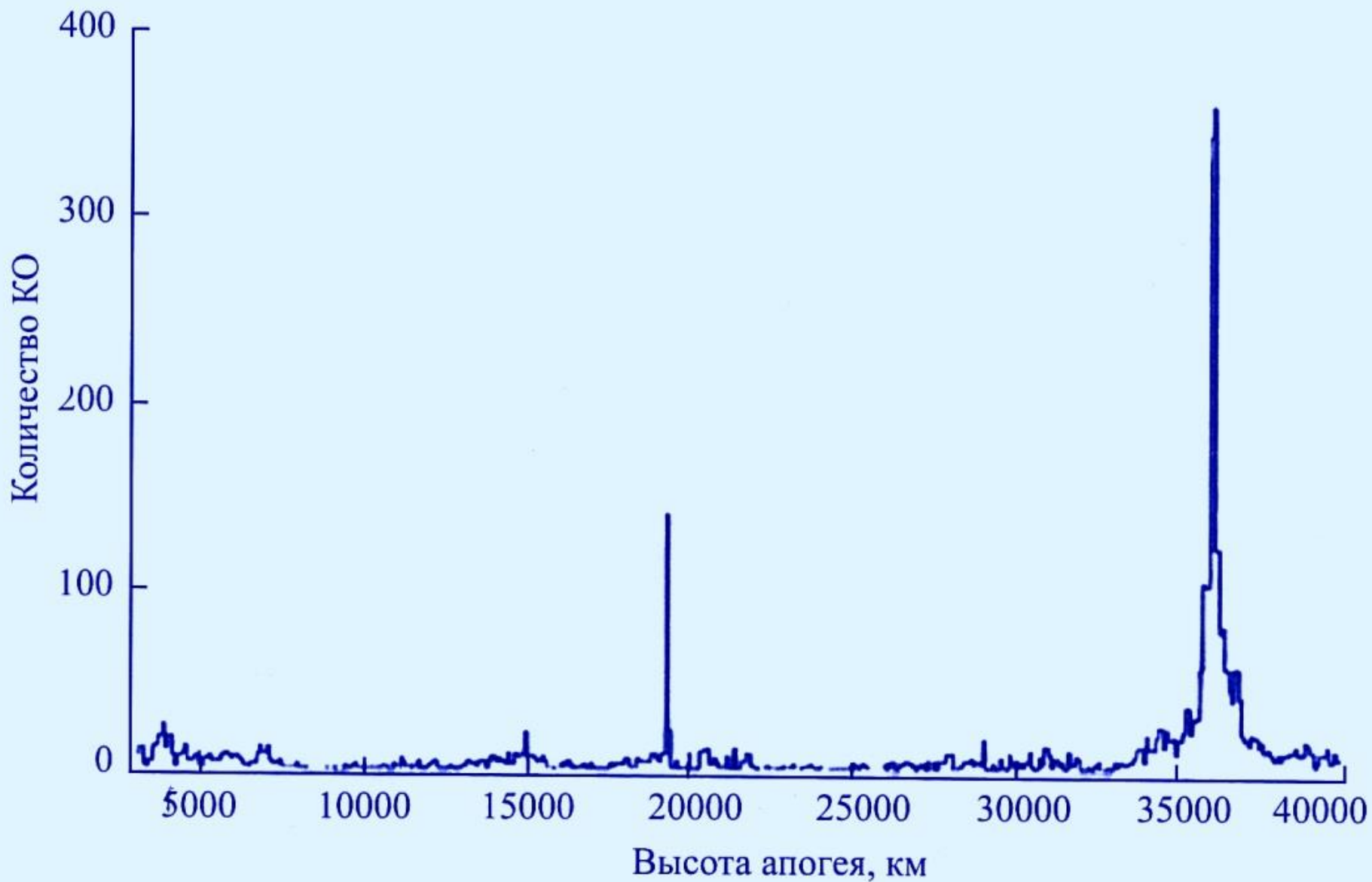
Распределения пространственной плотности КО различных размеров по высотам



Распределения каталогизированных КО по высоте апогея в диапазоне высот от 100 до 3000 км



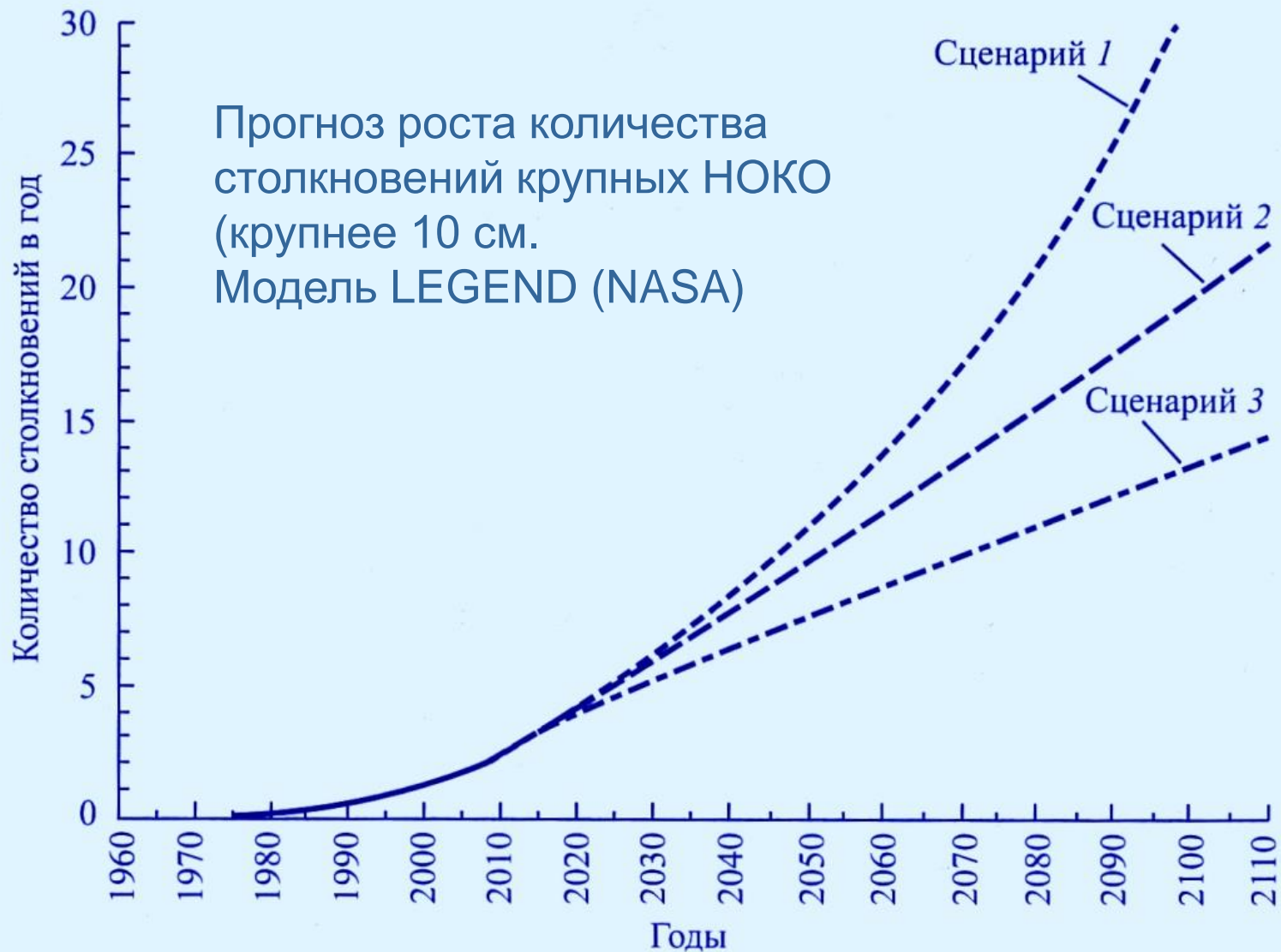
Распределения каталогизированных КО по наклонениям



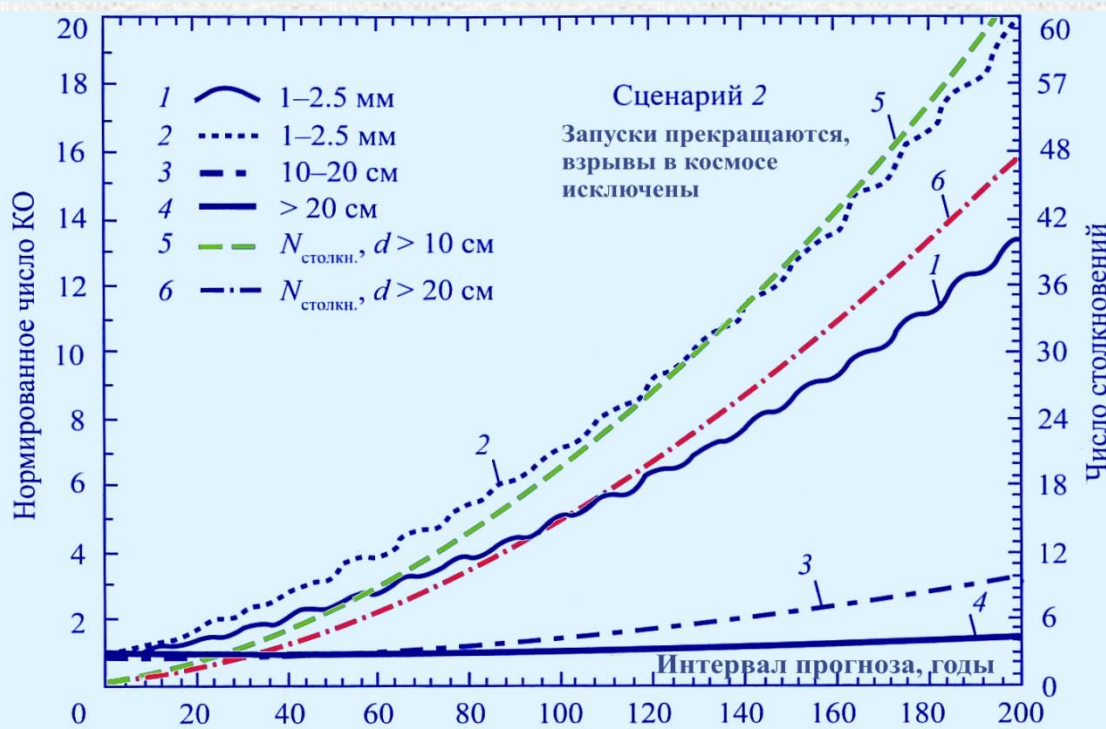
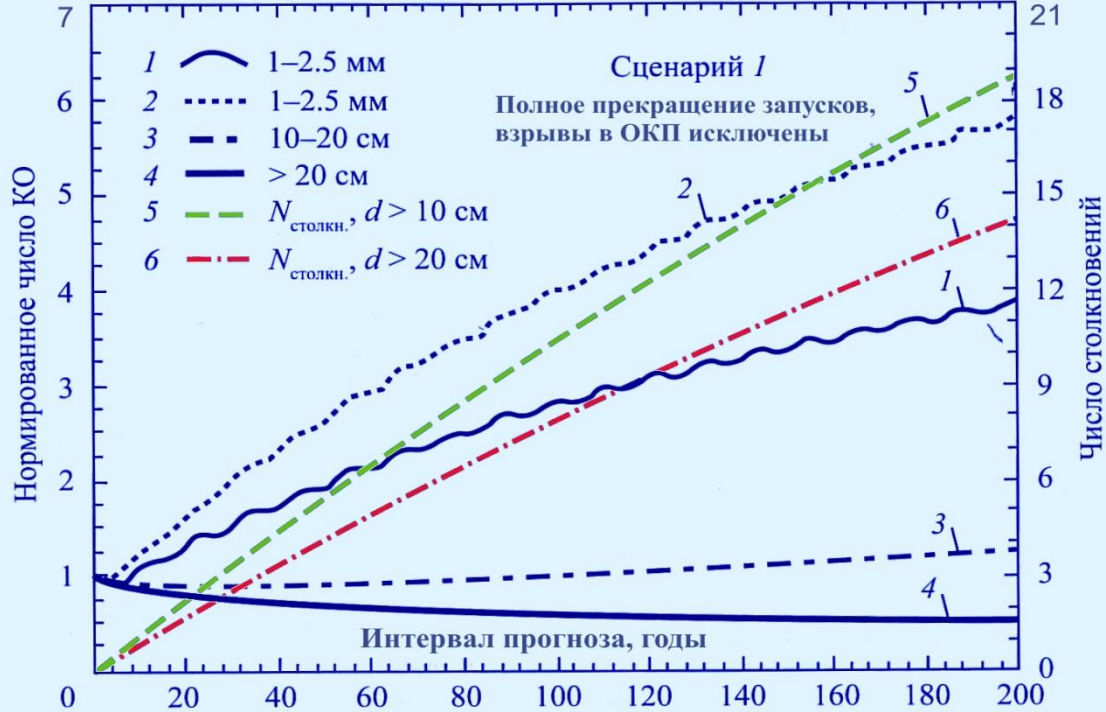
Распределения каталогизированных КО по высоте апогея в диапазоне высот от 3000 до 40000 км



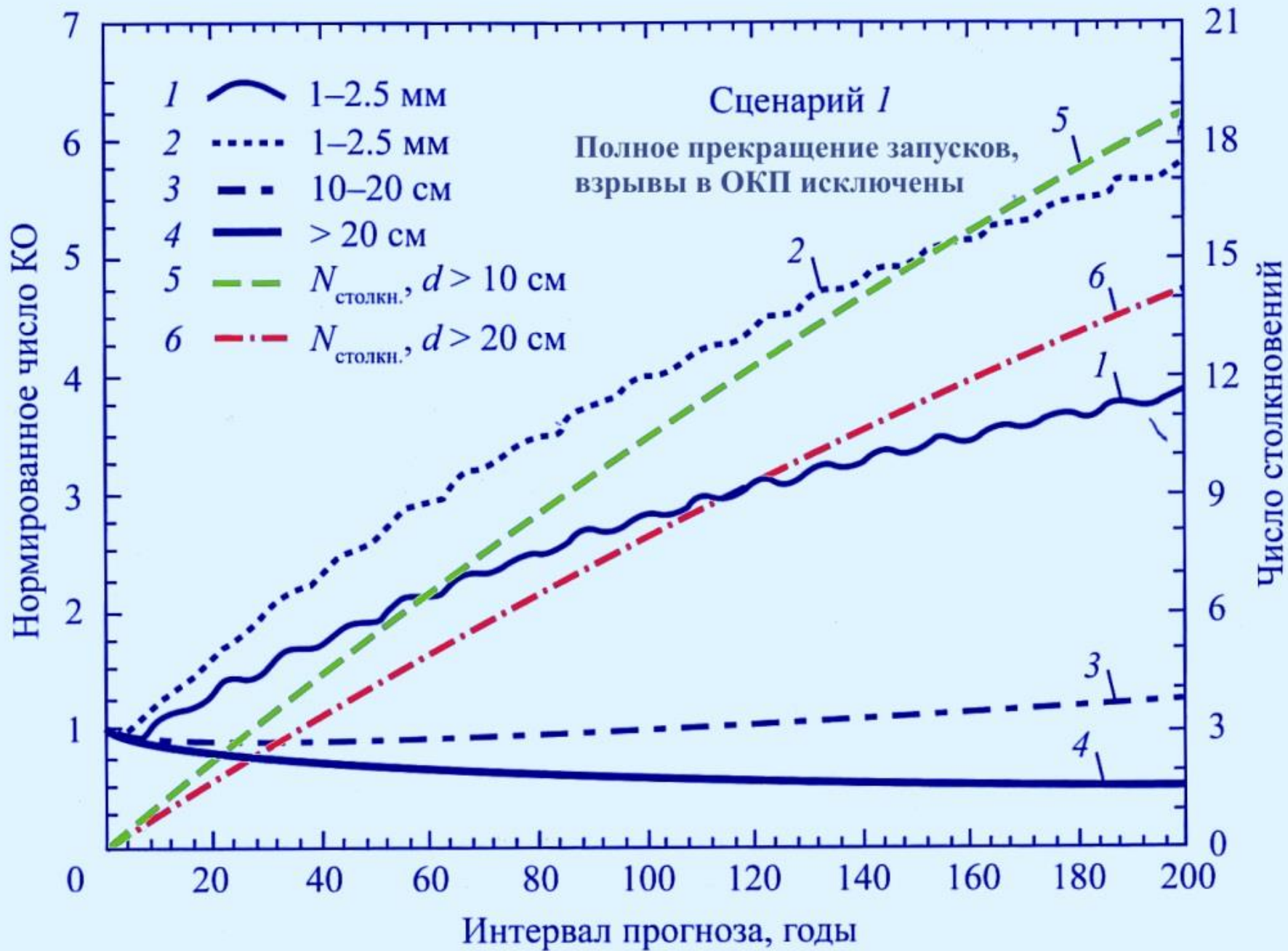
Критическая плотность КО в области низких орбит



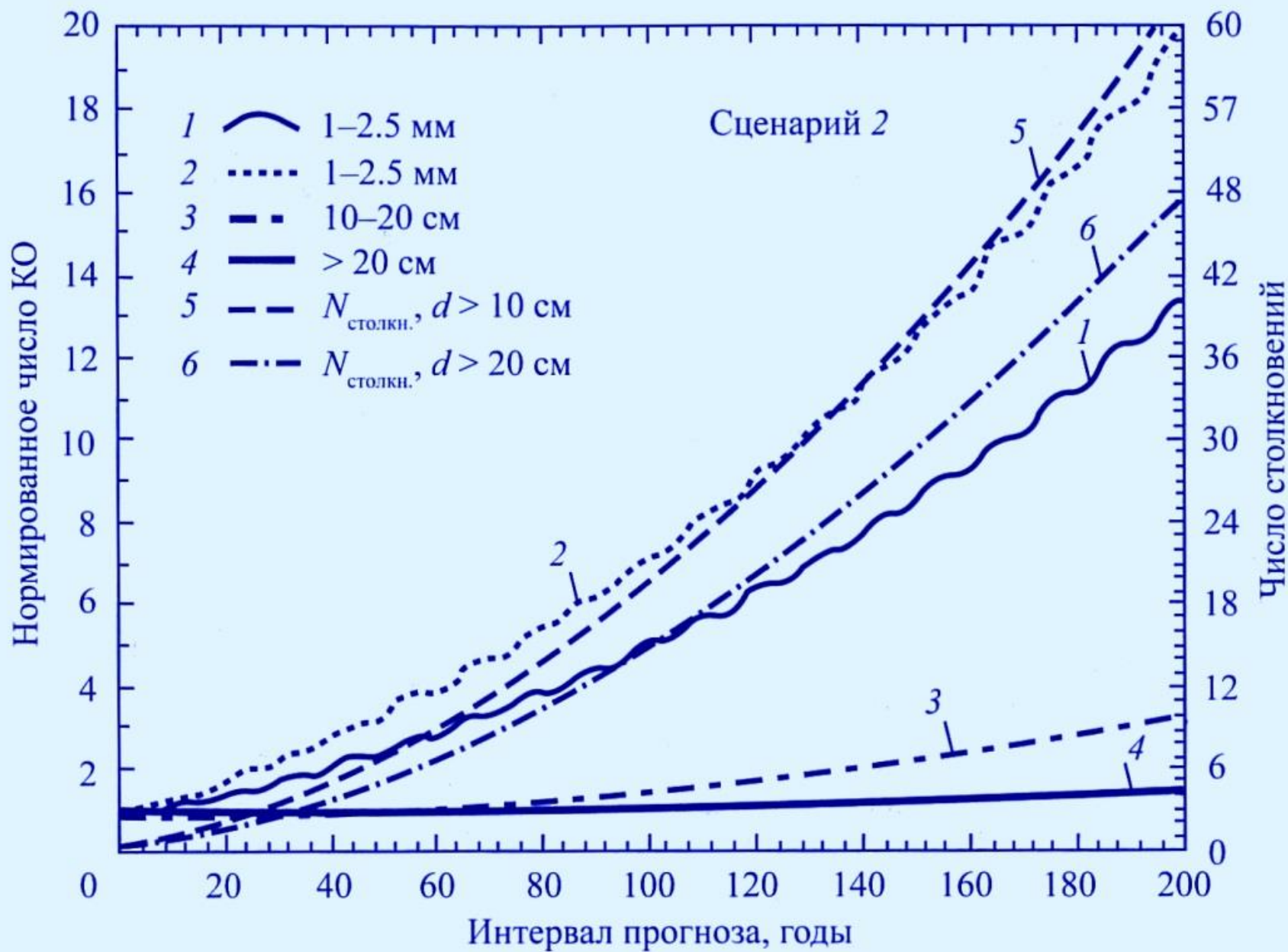
Если полностью отказаться от космической деятельности, ОКП продолжит засоряться вследствие столкновений КО с КМ, причем КМ продолжит свой рост, по крайней мере, в ближайшие 100 лет, хотя и менее интенсивно. 24



Рост числа КО
и количества столкновений
для сценариев 1 и 2



Рост числа КО и количества столкновений для сценария 1



Рост числа КО и количества столкновений для сценария 2

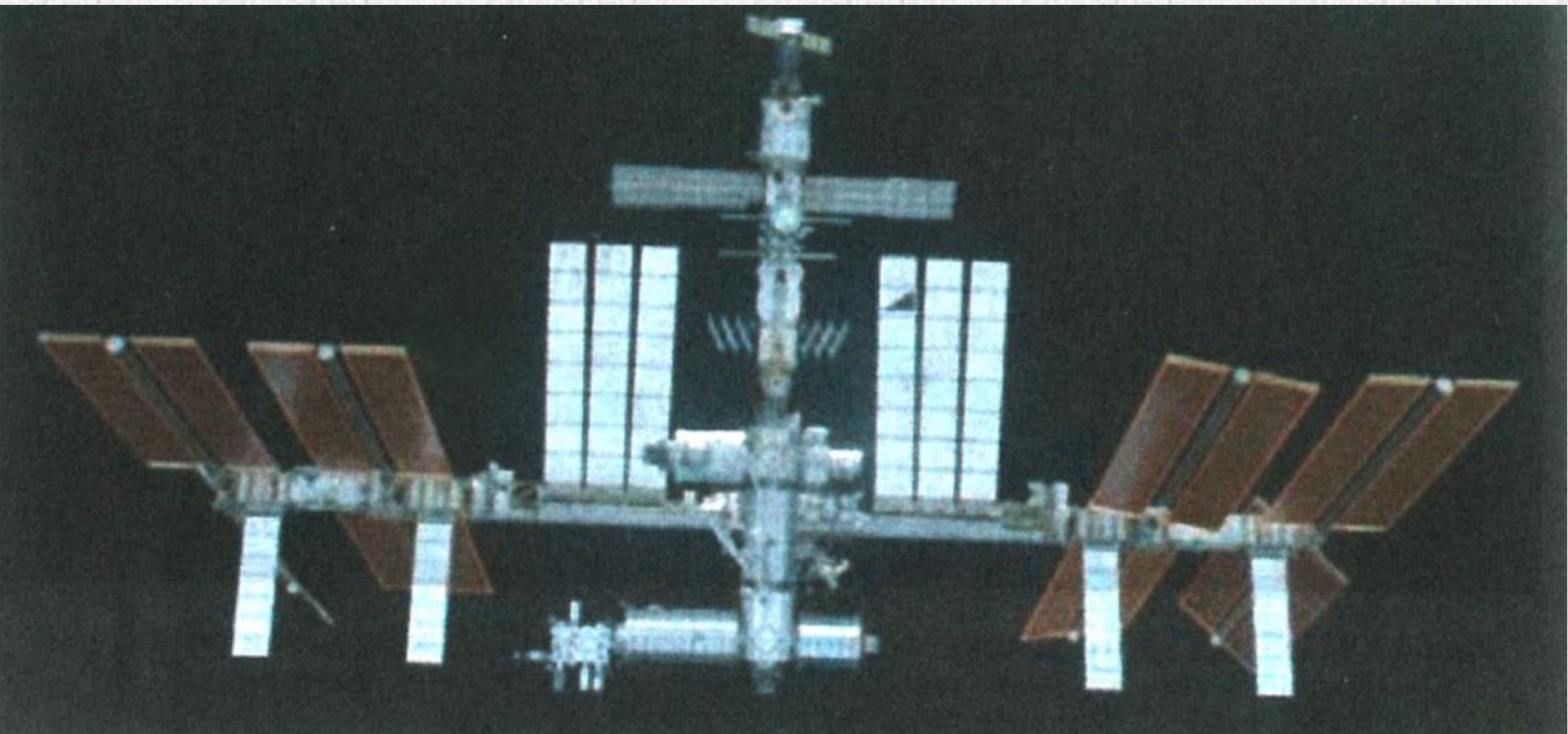
На январь 2017 г. запусков КА — 5253:

- 58 % каталогизированных объектов, результат — 290 разрушений на орбите (взрывы, 10 столкновений, из них 4 — столкновения каталогизированных КО);
- 24 % каталогизированных объектов — ИСЗ (<1/3 — рабочие);
- 18 % — ступени РН.
- до 1 мм — доминирующий мусор (частицы нагара, пыли из твердотопливных двигателей, 16 ядерных установок советских разведспутников, в 1980 г. — выброс жидкого теплоносителя, поверхностное разрушение старых КА).

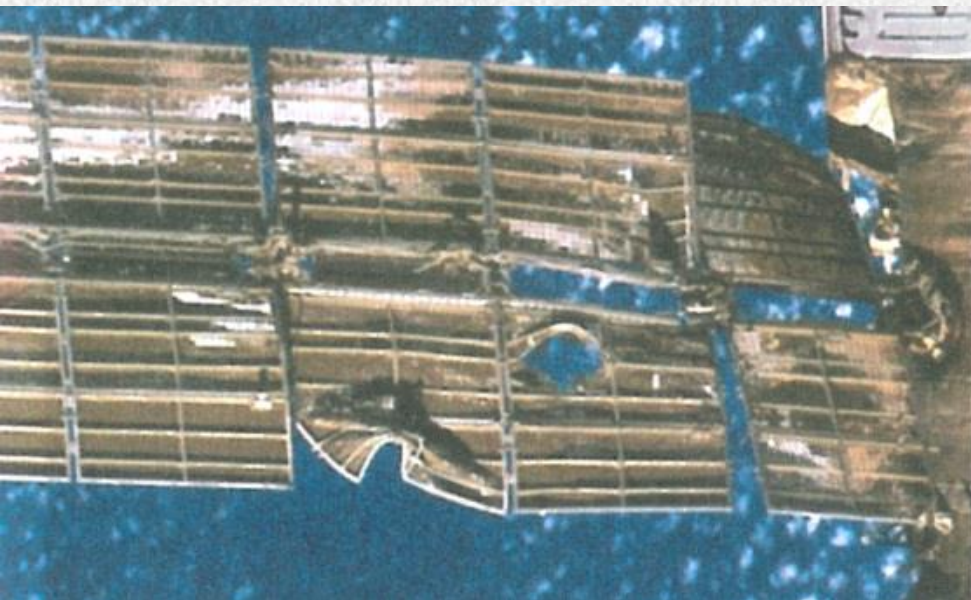
На январь 2017 г. отслеживается (США) ~23000 КО крупнее 5÷10 см (для 5000 КО данные не публикуются).

Модельные расчеты показывают, что полное число КО:

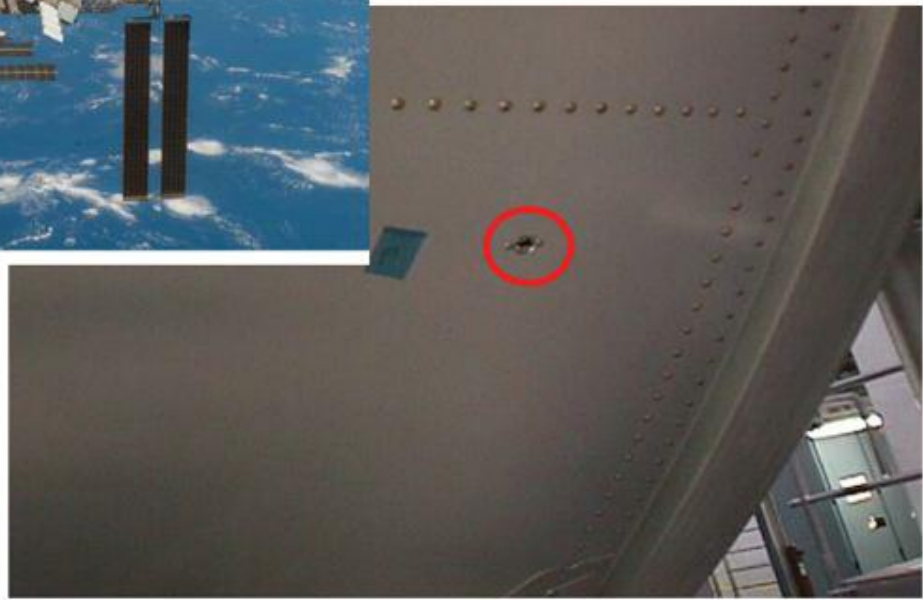
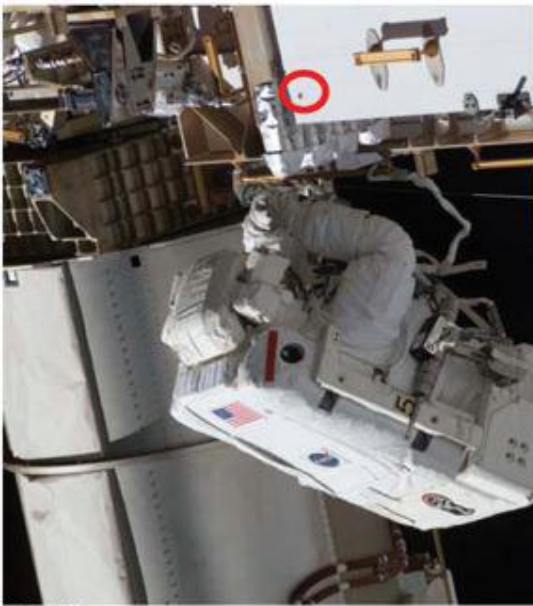
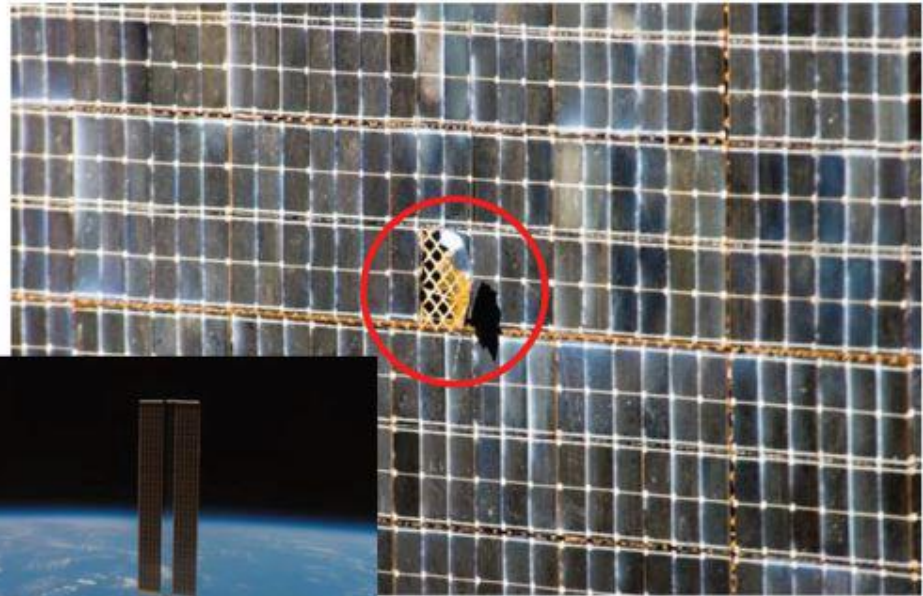
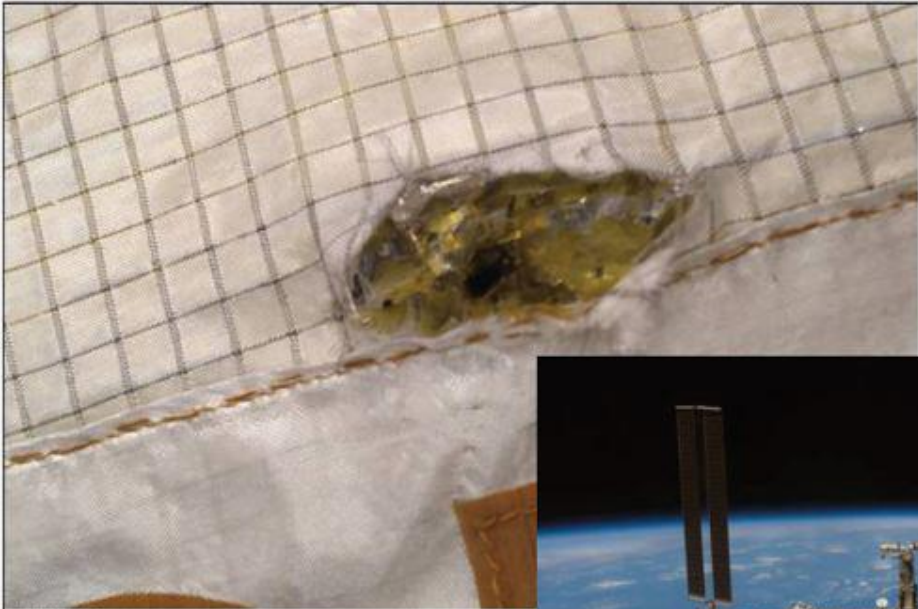
- ~29000 — размером >10 см;
- 750000 — 1÷10 см;
- Более 166 млн — 1 мм ÷ 1 см.

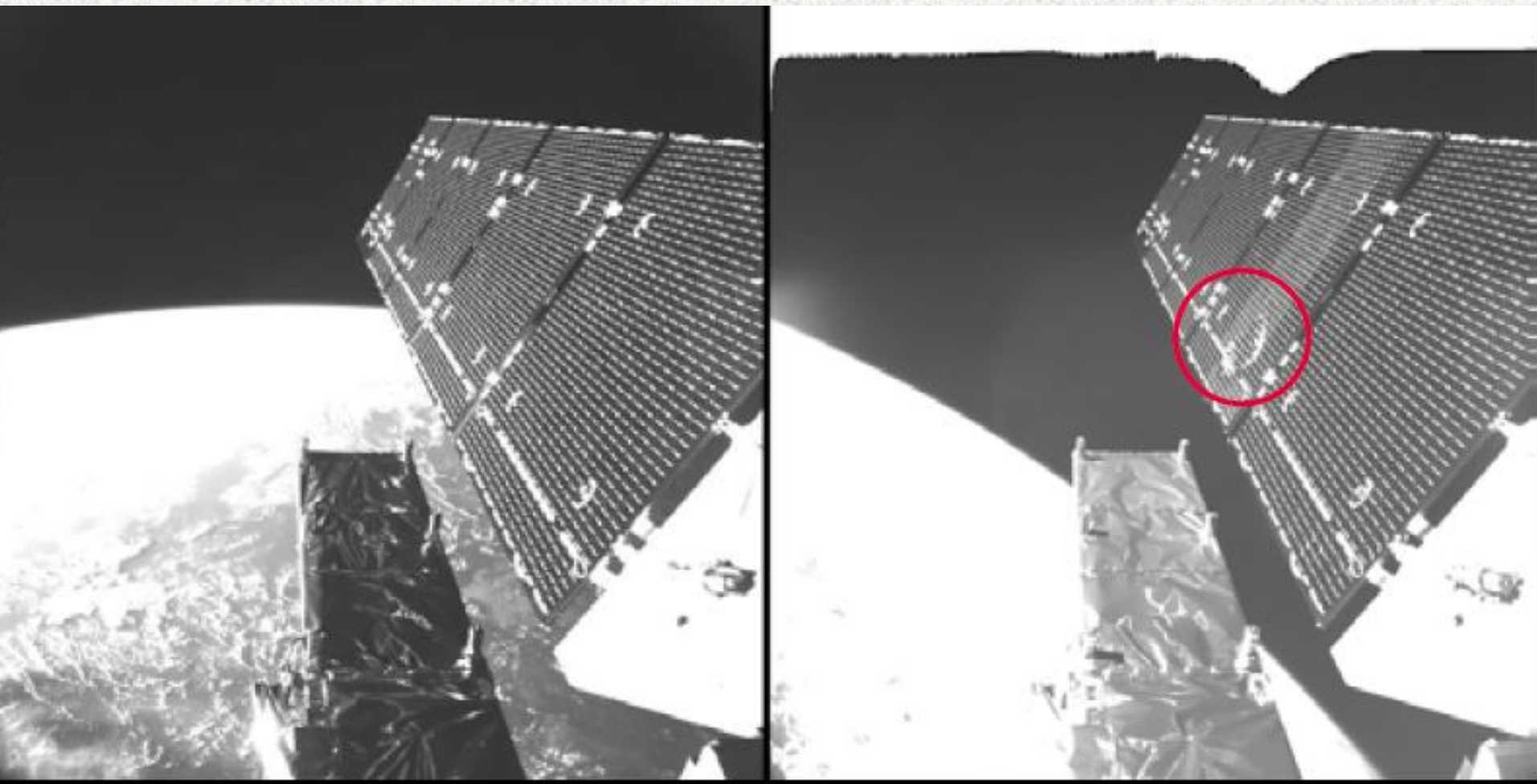


Международная космическая станция



Катастрофические повреждения солнечных панелей модуля «Спектр» ОС «Мир»

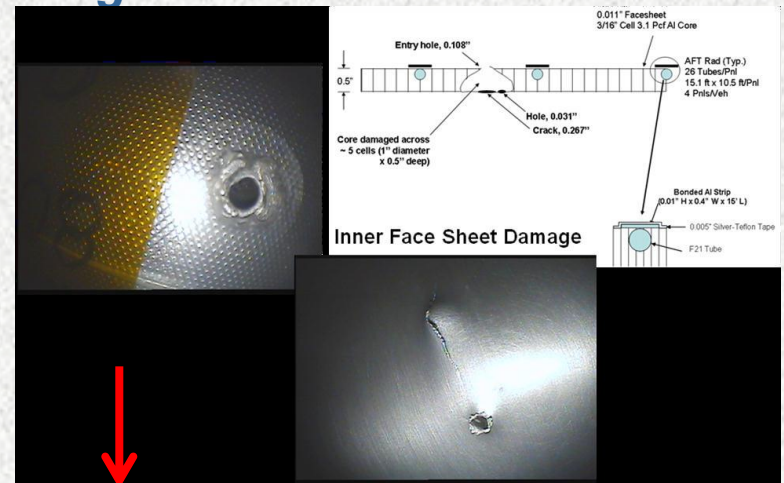




Солнечная батарея КА Sentinel-1A до и после столкновения 23 августа 2016 г. с частицей космического мусора размером < 1 см. По случайности вспомогательная камера позволила зарегистрировать область поражения около 40 см.



Космический телескоп Хаббл: > 500 повреждений на корпусе после 7 лет на орбите. *Credit: NASA **Orbital Debris Program Office.***



След от удара на радиаторе шаттла STS-115. При диаметре входного отверстия 2.7 мм, диаметр повреждённой внутренней структуры радиатора составил 2.5 см. *Credit: NASA **Orbital Debris Program Office.***

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Даже при самых решительных мерах, таких как немедленное прекращение всяких запусков и деятельности в космосе, связанной с образованием КМ, стабильность космической среды не может быть обеспечена.

1. Остановить процесс засорения уже невозможно. Все известные реальные меры борьбы с КМ, кроме принудительного снятия КО с орбиты, пока могут только замедлить темп засорения ОКП, но не снизить общую массу КМ.

2. Радикальные меры удаления крупного КМ из ОКП крайне дороги при довольно низкой их эффективности.

3. Реальных способов удаления мелкого и среднеразмерного КМ вообще нет.

4. Для прекращения экспоненциального роста популяции КМ (перевода его в линейный) необходимо, кроме предотвращения взрывов на орбитах, активное снятие с орбит крупных КО и/или сокращение времени их орбитального существования.

Главной опасностью со стороны КМ является мрачная перспектива развития каскадного эффекта (синдрома Кесслера) — стремительно расширяющегося цепного процесса образования вторичных осколков КО в результате все возрастающего числа столкновений КО вследствие чрезмерного повышения плотности КМ в ОКП. В этой фазе процесса засорения космического пространства КМ приобретает уже некий агрессивный характер. Каскадный эффект приведет к практической невозможности использования ОКП в научных, исследовательских, хозяйственных, коммерческих, военных и других целях.

Для адекватной оценки степени опасности со стороны КМ для космической деятельности необходимо глубокое понимание процессов, происходящих в ОКП, с хорошим знанием параметров этих процессов, источников образования и динамики потоков КМ. Однако сейчас не хватает данных о размерах КМ, их распределении, разнообразии форм, масс и материалов, об источниках образования нового КМ, орбитальных районах и распределении КМ в них.

Благодарю за внимание!

