

**Международная конференция
"Околосемная астрономия и космическое наследие"**

ИНАСАН, КФУ, Казань

30 сентября – 4 октября 2019 г.

**О.Ю. Аксёнов, С.С. Вениаминов, Д.Ю. Убоженко, С.В. Якубовский,
Н.Ф. Кононенко**

НИИЦ (г. Москва) ЦНИИ Войск ВКО МО РФ

Об опасности мелкого космического мусора

Цель данной презентации – показать результаты оценки степени опасности и различных аспектов проблемы мелкого КМ на основе анализа его особенностей и отличий от крупного, реальной опасности мелкой фракции засоренности околоземного космического пространства для космической деятельности и экологии Земли с учетом динамики его концентрации в различных орбитальных областях и ряда других факторов.

Основные аспекты проблемы мелкого КМ:

- орбитальное распределение мелкого КМ и его динамика;
- источники его образования;
- подходы к оценке степени опасности мелкого КМ;
- средства и методы мониторинга мелкого КМ.

1. Количество мелких частиц КМ на несколько порядков больше количества крупных КО, и эта диспропорция прогрессивно увеличивается.

2. Распределение мелкого КМ в ОКП и кинетические параметры его элементов изменяются быстрее, чем распределение и параметры движения крупных КО (из-за большего отношения площади поверхности к массе).

3. Мелкий КМ (даже субмиллиметровых размеров) представляет опасность для действующих КА, а также в перспективе для экологии Земли.

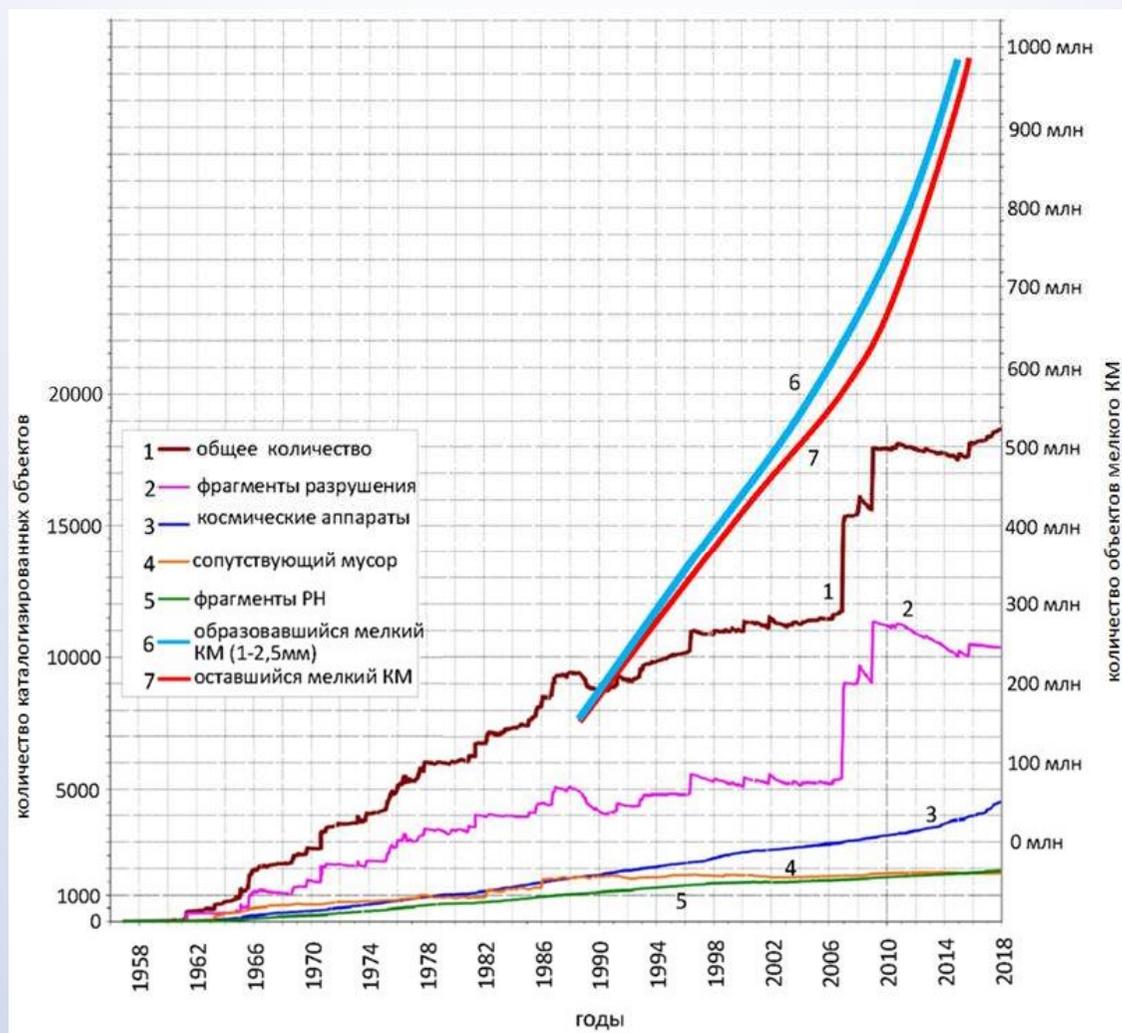
4. Характер и степень опасности мелкого КМ существенно зависят от параметров столкновения с ним.

5. Мелкий КМ не каталогизирован. Следовательно, столкновения с ним непредсказуемы.

6. Ввиду значительных трудностей наблюдения мелкого КМ нам доступно очень мало данных о количестве, составе, распределении этой популяции в ОКП и ее динамике.

Динамика засорения ОКП (в том числе мелким КМ размером 1 - 2.5 мм) с 1957 г. по 2018 г.

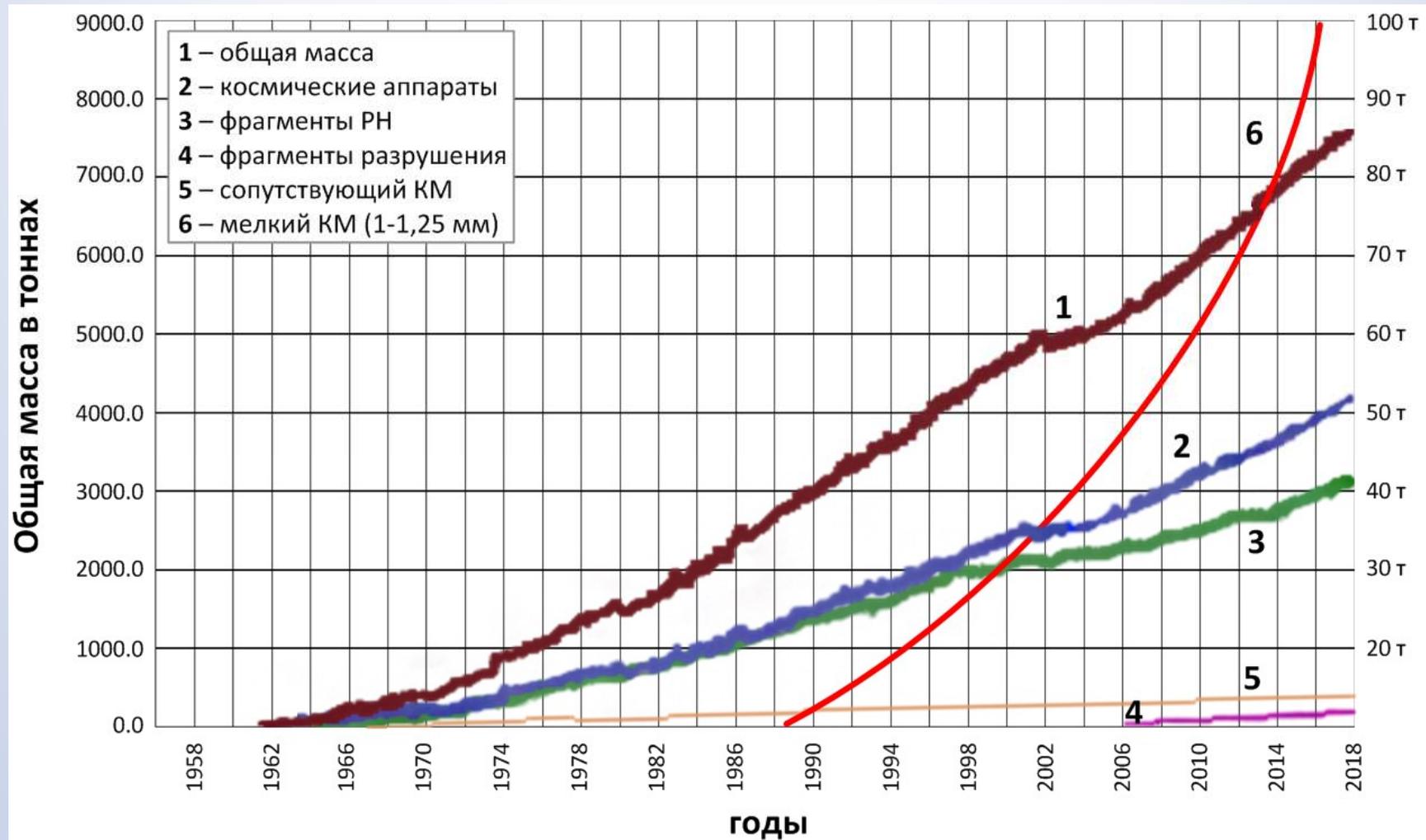
4



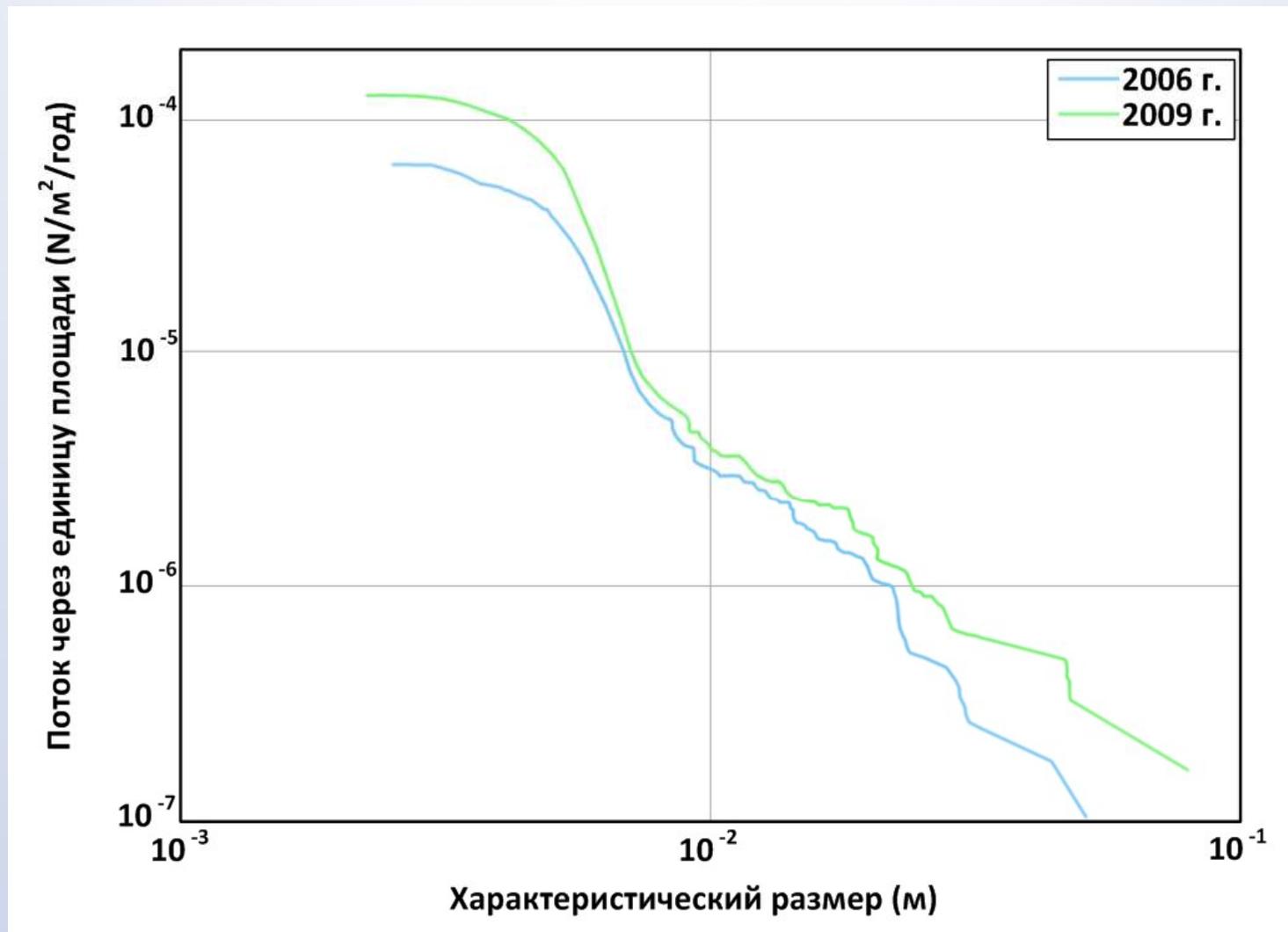
По многим данным экспоненциально нарастает количество мелкого КМ в низкоорбитальной области.

Изменение (рост) суммарной массы КМ

5



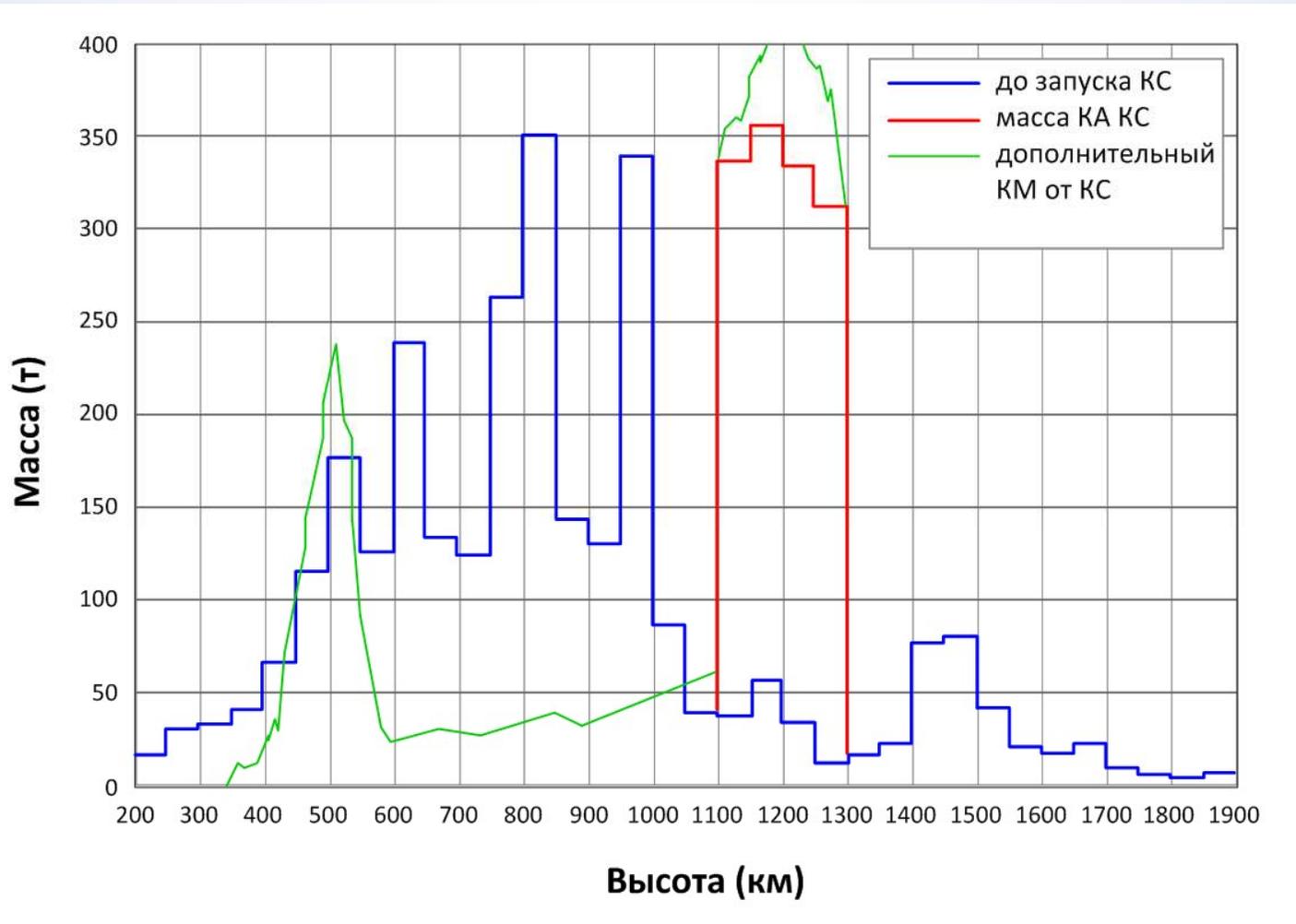
Масса мелкого мусора в низкоорбитальной области также увеличивается экспоненциально.



Всего за 3 года плотность потока мусора размером от 1 мм до 10 см в важной оперативной зоне (800 – 900 км) возросла на 20-30%.

Ожидаемое распределение суммарной массы КМ по высотам в результате развертывания КС

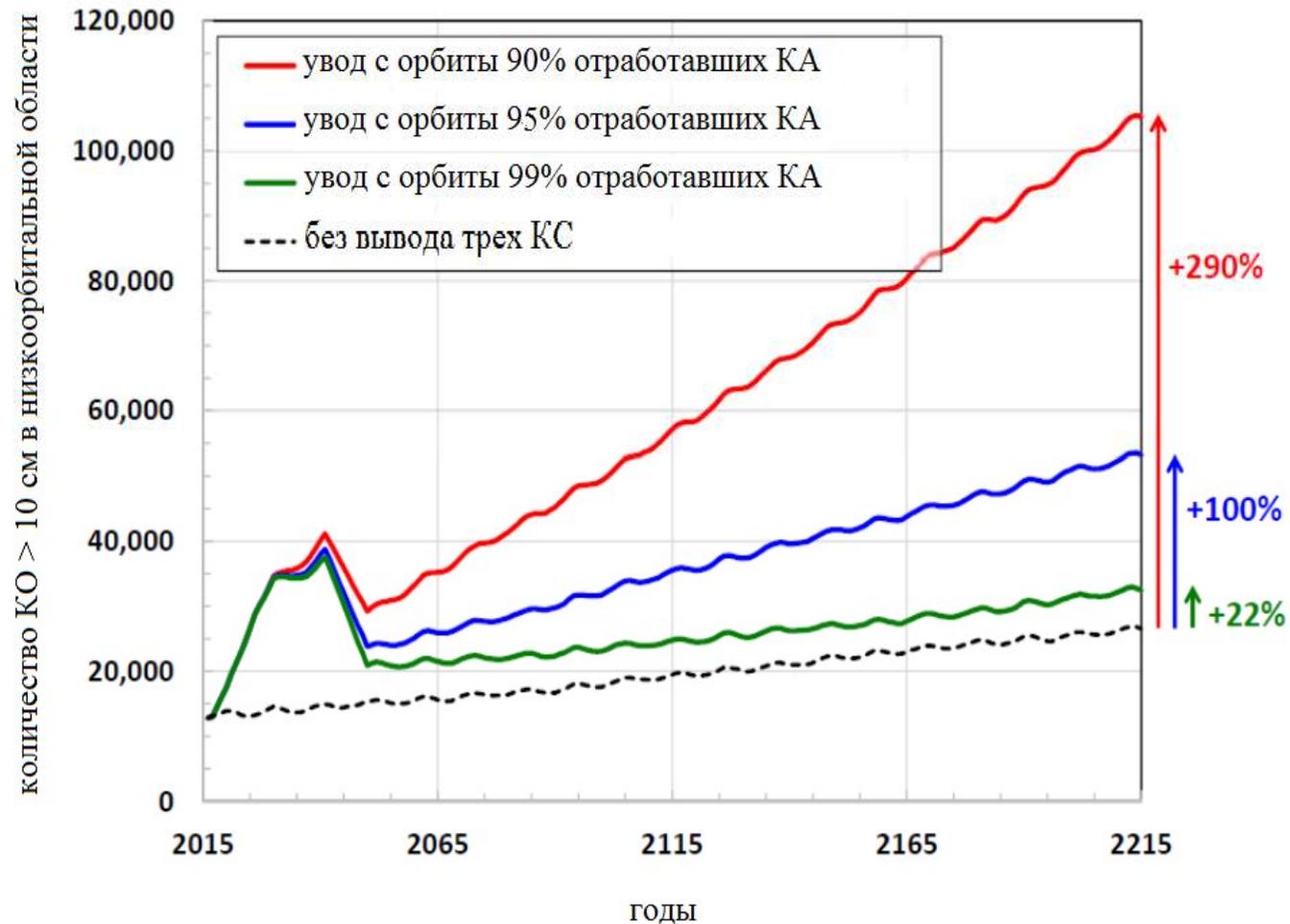
7



Развертывание трех КС скачкообразно (\approx на 80%) увеличит массу КО (как полезных, так и мусора) в низкоорбитальной области. Мелкий КМ распределен по высотам с точностью до масштаба аналогично суммарному (синяя кривая) с некоторым смещением влево (из-за большего, чем у крупного, отношения площади поверхности к массе).

Ожидаемый рост числа крупных КО после запуска коммуникационных КС

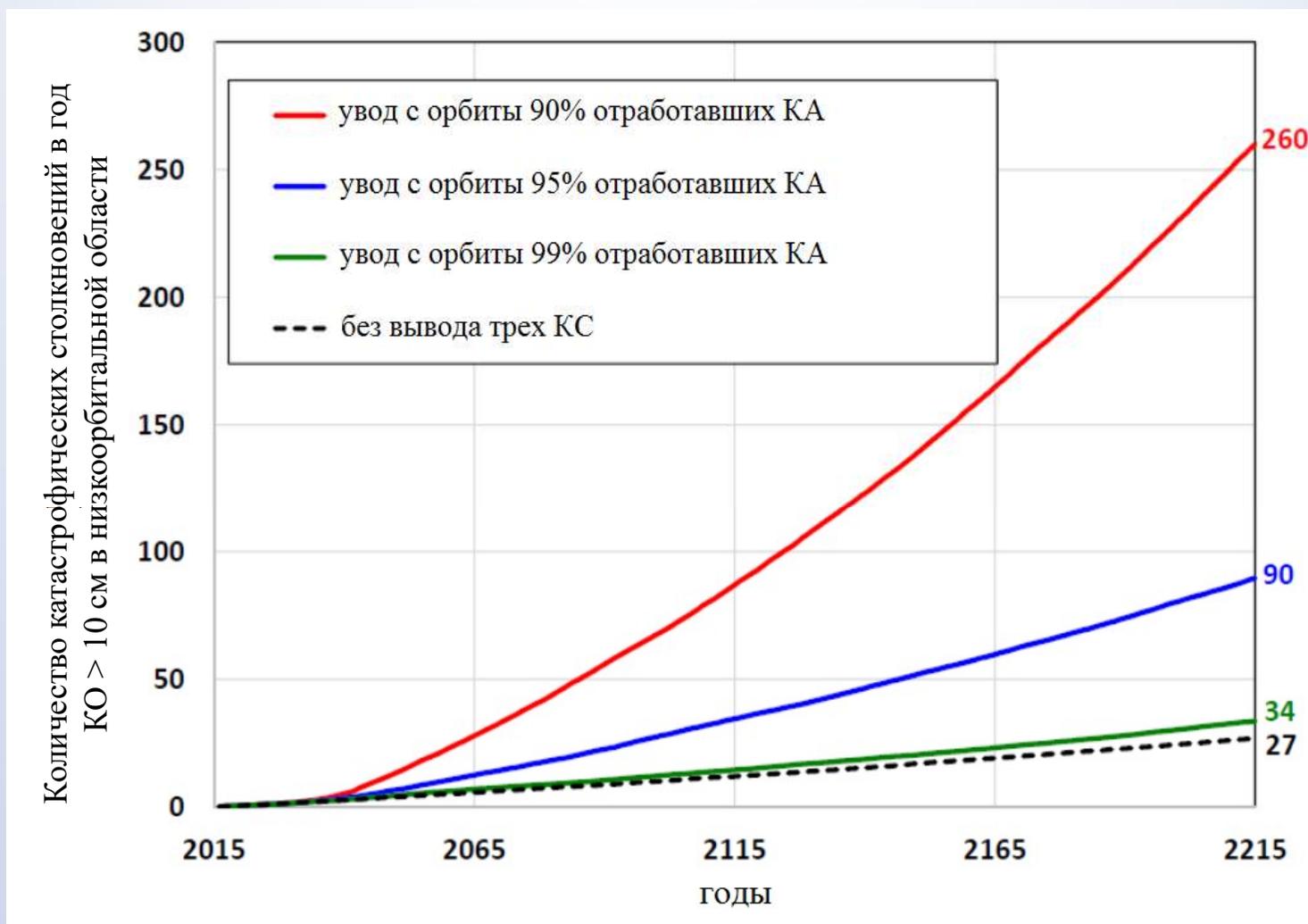
8



Развертывание трех коммуникационных систем приведет к существенному приросту количества КО даже при 99%-ном удалении с орбит отработавших КА.

Ожидаемый рост числа катастрофических столкновений после запуска коммуникационных систем

9



При 90%-ном удалении отработавших КА число катастрофических столкновений даже крупных КО резко возрастет. Заметного снижения этого прироста удастся добиться при 99%-ном удалении отработавших КА.

Табл. 1. Распределение фрагментов от столкновения КА «Космос 2251» и «Иридиум»

Размер	> 1 м	20 см – 1 м	10 см – 20 см	1 см – 5 см	2.5 мм – 1 см	1 мм – 2.5 мм
Количество	2	130	652	145200	1480000	6250000
Масса, кг	360	600	155	153	63	30

Вероятность взаимных столкновений КО сильно зависит от их размеров. При уменьшении размеров КМ от 10 см до 1 мм (на 2 порядка) число взаимных столкновений увеличивается почти на 4 порядка, а вероятность столкновения малой частицы с крупным КО (например, с КА) также возрастает на несколько порядков. Каталогизированные объекты сталкиваются 1 раз в 27 лет, а частицы размером 1 мм – 220 раз в год.

Табл. 2. Среднее число столкновений k_{cp} в год КМ разных размеров

Размер, см	0.1	0.2	0.5	1	5	10	20
k_{cp}	220	325	5.2	0.854	0.123	0.052	0.038

Измерение опасности КМ

Мера опасности общей и по категориям КМ

$$D = \sum_{k=1}^K m_k v_k^2$$

$$D = D_1 + D_2 + D_3 + D_4 = w_1 \sum_{i \in P_1} m_i v_i^2 + w_2 \sum_{i \in P_2} m_i v_i^2 + w_3 \sum_{i \in P_3} m_i v_i^2 + w_4 \sum_{i \in P_4} m_i v_i^2$$

1. Мелкий КМ представляет значительную опасность для действующих КА и для экологии ОКП вообще, особенно в низкоорбитальной области. Его количество в ОКП на несколько порядков превосходит численность крупных, каталогизированных КО и прогрессивно растет.

2. Столкновение мелкого, неотслеживаемого КМ с действующим КА может привести не только к его повреждению и даже гибели, но и к военно-политическому конфликту.

3. Рост засоренности ОКП мелким КМ влечет снижение прозрачности ОКП, что приводит к изменениям в важнейшем для жизни на Земле озоновом слое.

4. Наблюдающийся прогрессивный рост техногенного засорения ОКП неуклонно приближает наступление каскадного синдрома Кесслера, что неизбежно приведет к вынужденному прекращению космической деятельности в относительно недалеком будущем.

5. Самыми узкими местами в исследовании и решении проблем, связанных с мелким КМ, являются дефицит измерений и отсутствие эффективных способов его удаления.

6. Меры сдерживания засорения ОКП (пока еще явно недостаточные) перестанут быть эффективными с началом каскадного процесса. Поэтому их основная цель – не допустить его развития. Это определяет срочность и неотвратимость их применения всеми странами, участвующими в освоении космоса.