



АО «Астрономический научный центр»

Неопределённости при оценивании и прогнозировании параметров движения центра масс космических объектов в ОКП, связанные с невозможностью прямого учёта ряда возмущающих факторов негравитационной природы

*Заместитель генерального директора –
генеральный конструктор АО «АНЦ» В. Агапов*

РАЗРАБОТЧИК и ИЗГОТОВИТЕЛЬ 23 из 26 оптических инструментов,
эксплуатируемых в составе АСПОС ОКП Госкорпорации «Роскосмос»

РАЗРАБОТЧИК СПЕЦИАЛЬНОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ,
обеспечивающего функционирование Комплекса специализированных оптико-электронных средств (КСОЭС):

СПО Автоматизированного центра управления КСОЭС

- База данных (измерения, орбиты, планы работы средств, результаты обработки цифровых изображений, сближения, разрушения и др.)
- Комплекс планирования работы средств КСОЭС и привлекаемых оптико-электронных средств
- Комплекс обработки измерительной информации и уточнения параметров орбитального движения
- Комплекс оценки сближений космических объектов

СПО оптико-электронных комплексов

- Комплекс управления работой оптико-электронных комплексов (фотоприёмным устройством, опорно-поворотным устройством, метеостанцией и др.)
- Комплекс обработки цифровых изображений
- Комплекс оперативного отождествления измерительной информации
- Комплекс организации автономного обнаружения космических объектов

ГОЛОВНАЯ ЭКСПЛУАТИРУЮЩАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ

Комплекса специализированных оптико-электронных средств АСПОС ОКП Госкорпорации «Роскосмос»

ДЕЙСТВУЮЩИЕ на территории Российской Федерации:

Информационно-аналитический пункт

четыре собственных обсерватории:

- «Долины» в р-не г.Уссурийск
- «Передовое» в р-не г.Благовещенск
- «Шаджатмаз» в р-не г.Кисловодск
- «Научный» в Республике Крым

три наблюдательных пункта:

- г. Елизово (Камчатский край)
- г. Артем (Приморский край)
- г. Лесосибирск (Красноярский край)



ДЕЙСТВУЮЩИЕ за рубежом:

два наблюдательных пункта:

- г. Ла-Серена, Чили
- г. Китаб, Узбекистан

СТРОЯЩИЕСЯ за рубежом:

два наблюдательных пункта:

- «Декка», Намибия
- «Укаймеден», Марокко

ПРОЕКТИРУЕМЫЕ за рубежом:

два наблюдательных пункта:

- в Индонезии
- в Эфиопии

ПРОГРАММА НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ до 2025 года

Новые инструменты:

- Модульные оптико-электронные комплексы с телескопами от 20 до 65 см
- Комплексы радиотехнического мониторинга космических радиолиний
- Новые высокопроизводительные фотоприёмные устройства

Новое СПО:

- Комплекс детального моделирования существующей и перспективной сети средств мониторинга ОКП
- Усовершенствованный комплекс обработки большого потока (до 1-2 Гбайт/с) цифровых изображений в темпе получения

Новые технологии:

- Комплексного применения ОЭС, РТС и РЛС
- Получения, обработки и анализа новых видов информации о КО (спектры, поляризационные характеристики)
- Комплексного анализа разнородной оптической, радиотехнической и радиолокационной информации для идентификации и распознавания КО и оценки возможных угроз

Новые компетенции:

- Использование радиотехнической и радиолокационной информации, а также новых видов некоординатной оптической информации при решении задач анализа обстановки в ОКП
- Работа с большими потоками первичной информации мониторинга (оптической и радиотехнической)
- Эффективное управление работой сети географически распределённых разнородных средств мониторинга ОКП

Текущая обстановка в ОКП

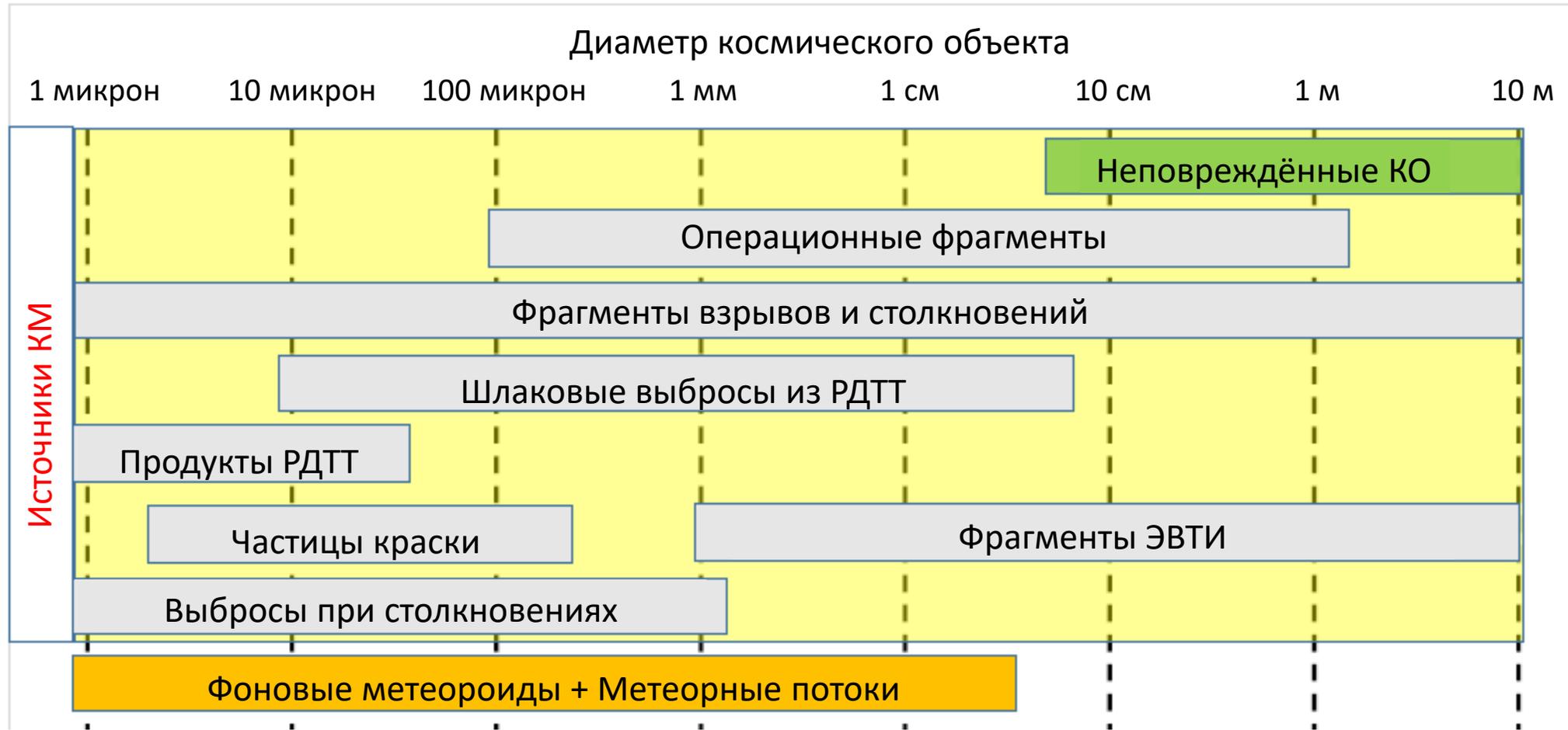
| Размер КО | Оценочное количество КО, находящихся на орбите | Количество обнаруженных и учтённых КО, находящихся на орбите |
|-----------|--|--|
| > 10 см | ~ 40'000 | ~ 29'000 |
| 5-10 см | ~ 200'000 | несколько сотен |
| 1-5 см | >800'000 | 0 |

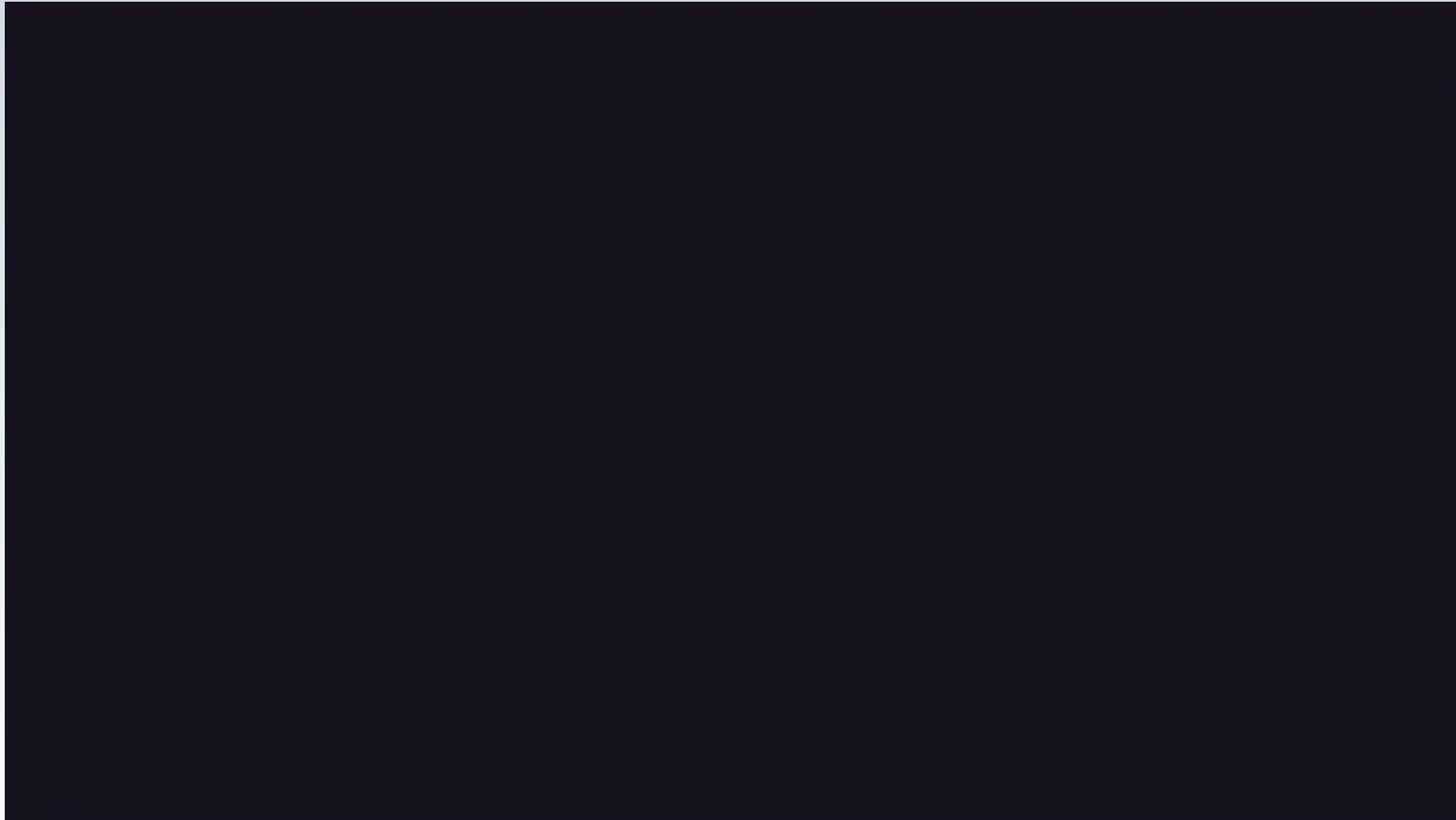
Рост количества функционирующих КА



Количество функционирующих КА по состоянию на 1 января 2022 г. – **4'852**

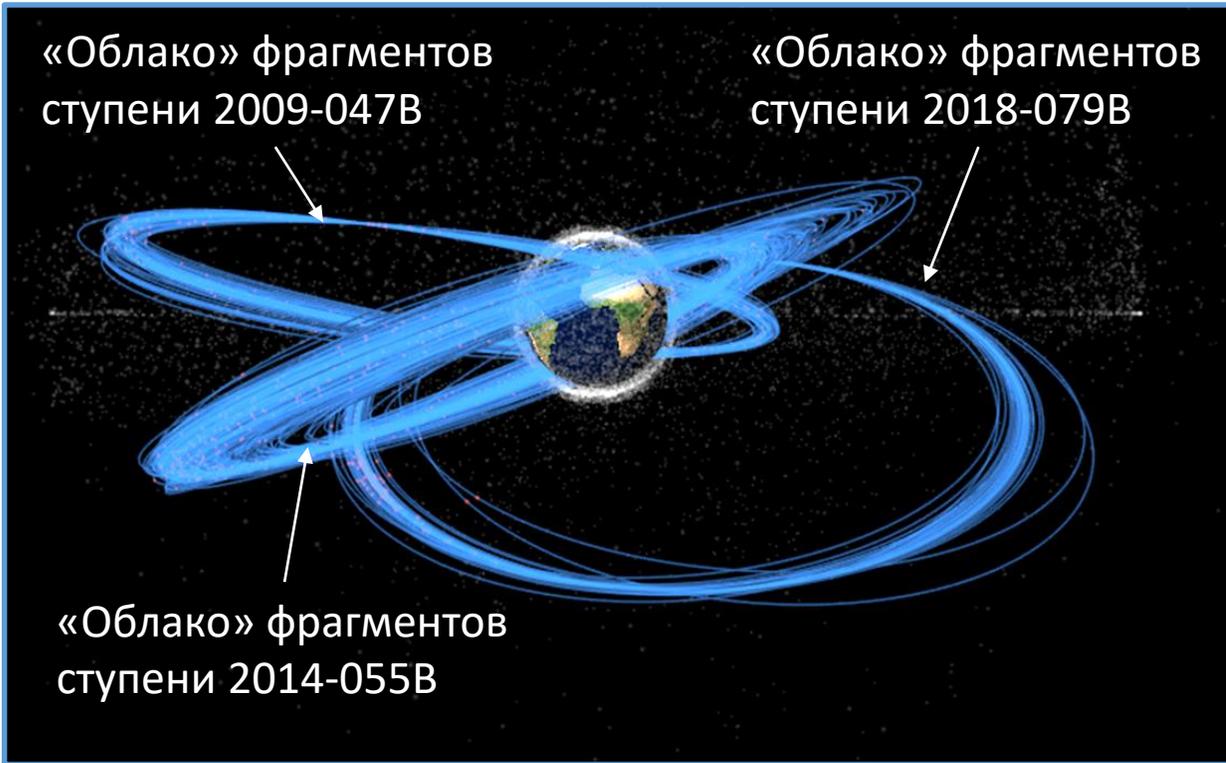
Источники образования космического мусора



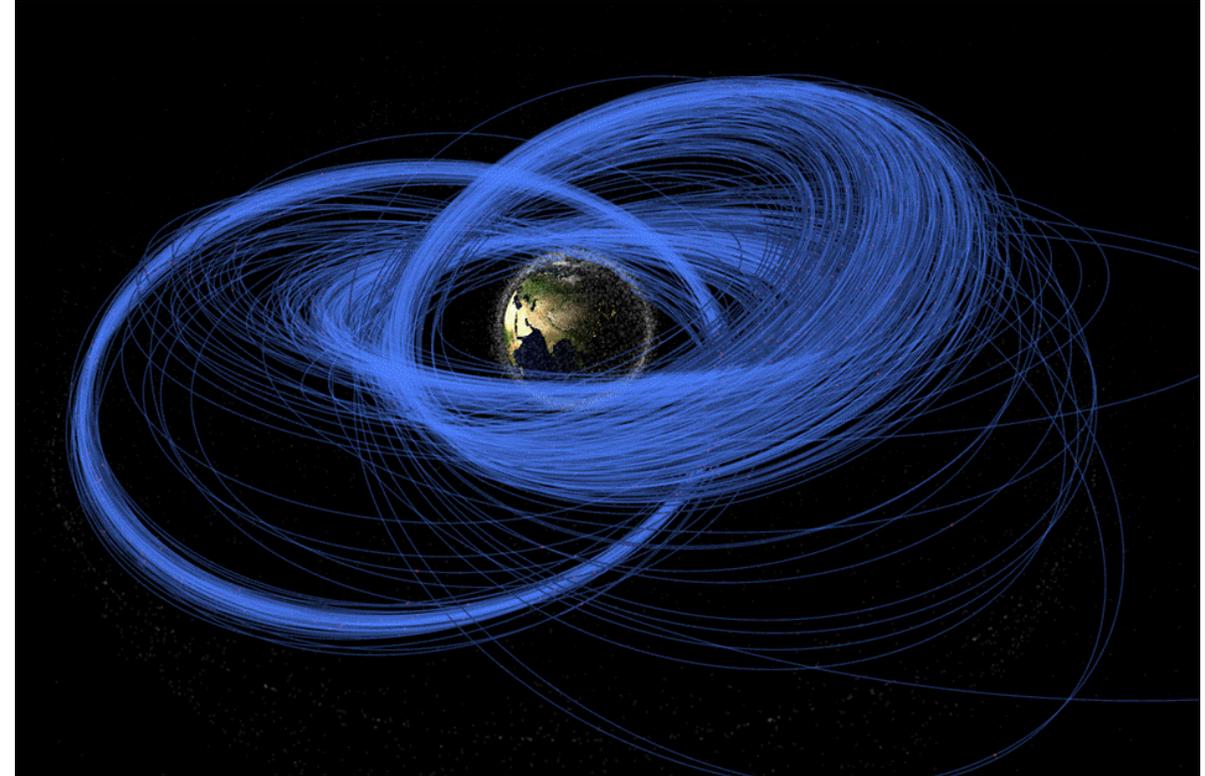


Количество КО:
> 1 м: 5 400
> 10 см: 34 000
> 1 см: 900 000
> 1 мм: 130 000 000

Разрушения – основной источник прироста количества объектов КМ



Апрель 2019 г.



Сентябрь 2022 г.

Разрушения трёх американских ступеней типа Центавр в 2018-2019 гг.
Обнаружены специалистами АНЦ

$$\ddot{\vec{r}} = -\frac{\mu\vec{r}}{r^3} + \bar{A}$$

- \bar{A} - суммарный вектор возмущающих ускорений, обусловленных:
- несферичностью Земли
 - гравитационным влиянием третьих тела (Луна, Солнце, ...)
 - сопротивлением атмосферы
 - давлением потока излучения

$$a_{drag} = \frac{1}{2} \rho V^2 C_D \frac{S}{m}$$

ρ - плотность атмосферы

V - скорость КО относительно атмосферы

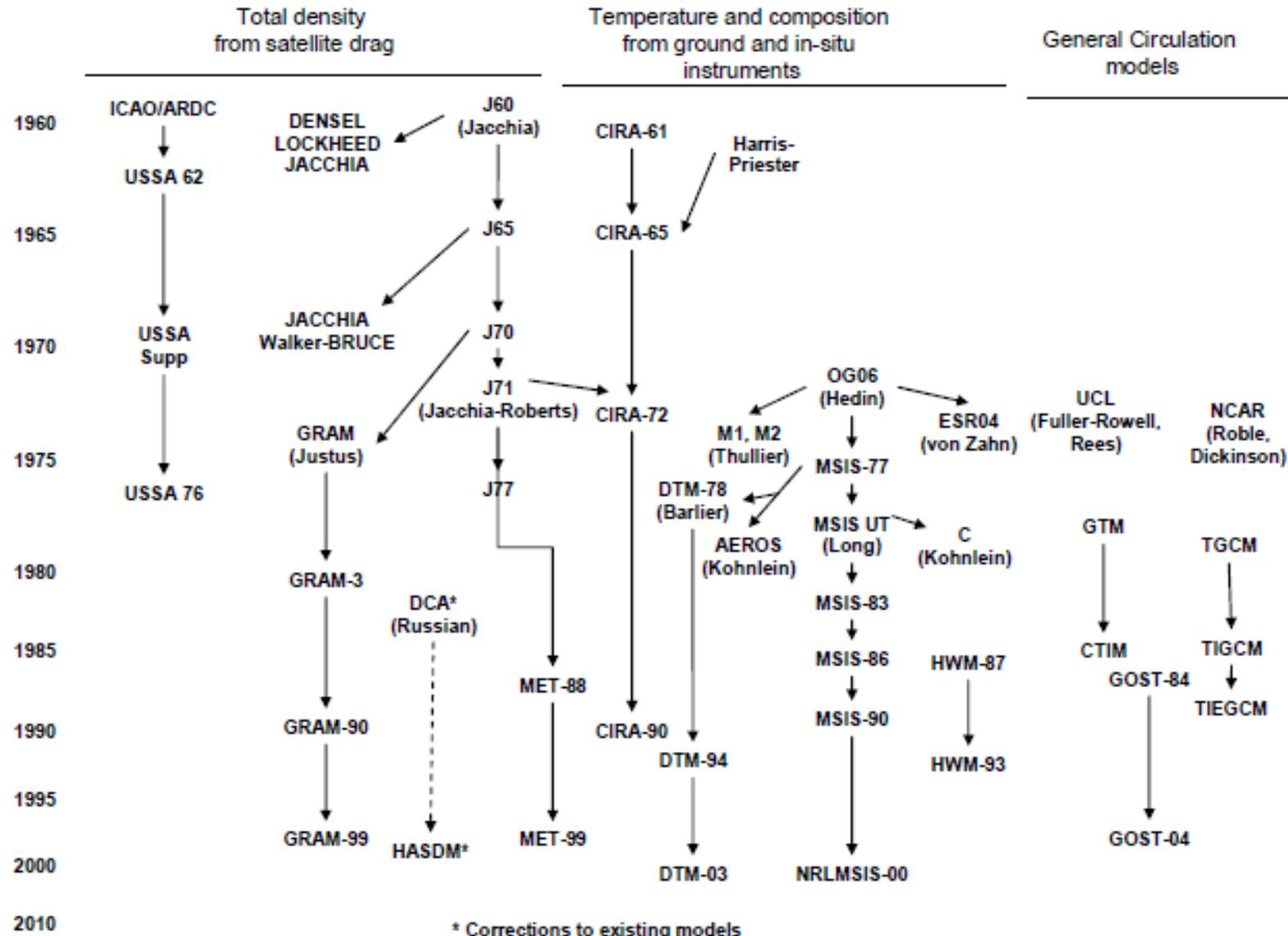
C_D - коэффициент аэродинамического сопротивления

S - характерная площадь поверхности КО по отношению к набегающему потоку

m - масса КО

Требования к модели плотности верхней атмосферы Земли:

- должна быть применима в диапазоне высот 80-1500 км
- значения (включая прогнозируемые на интервалах до 2-3 циклов солнечной активности) входных параметров модели и оценки их погрешностей должны распространяться постоянно действующей службой
- должен быть описан порядок использования входных данных



Индексы солнечной активности, используемые в моделях (измеренное значение и среднее за 81 сут)

$F_{10.7}$ (измеренное и приведенное к 1 а.е.)

$E_{10.7}$ [Tobiska, 2000]

S_{10} (SOHO, 26-34 нм)

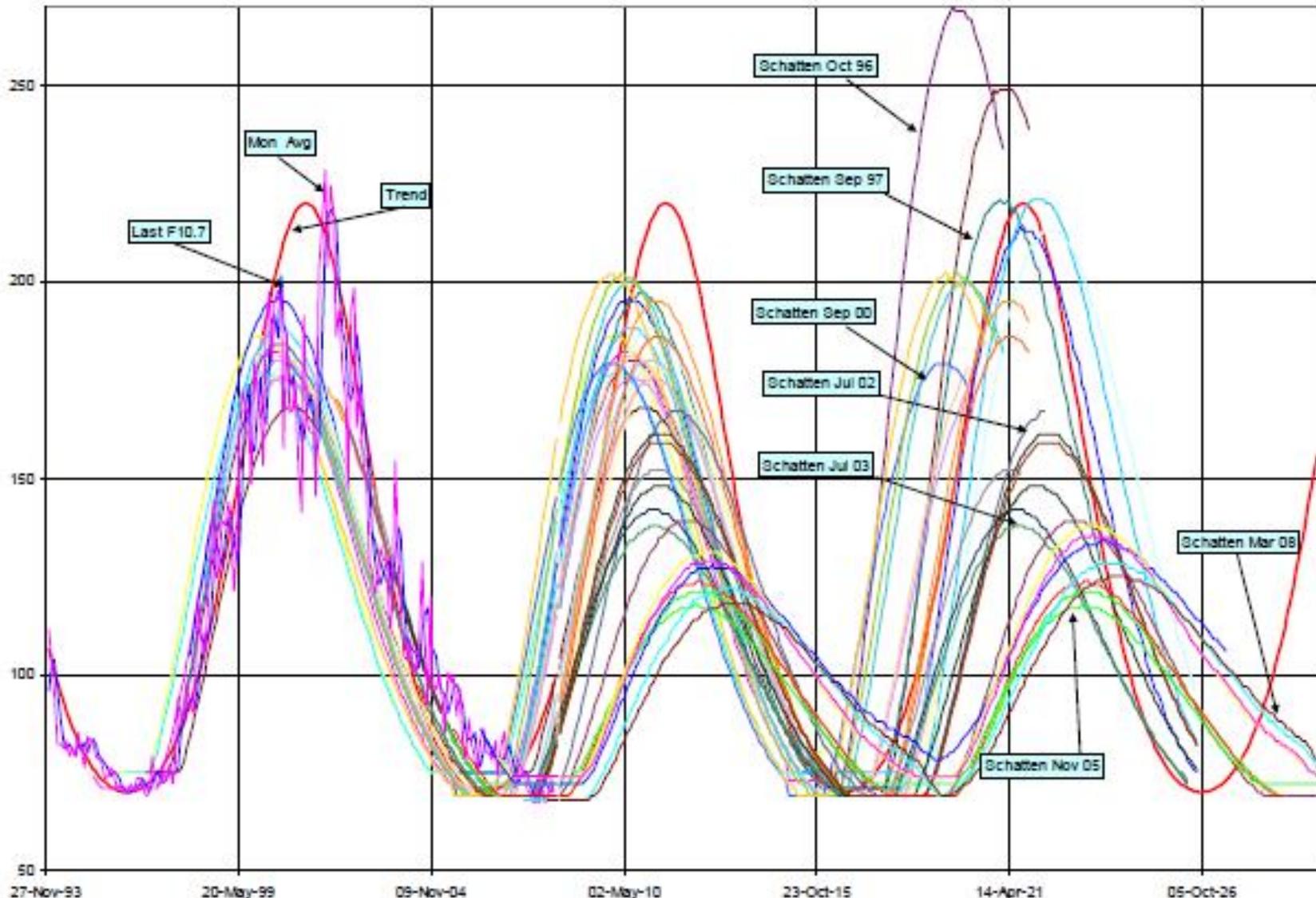
Mg_{10} (Mg II, NOAA и другие КА, ~280 нм)

Индексы геомагнитной активности, используемые в моделях

a_p

K_p

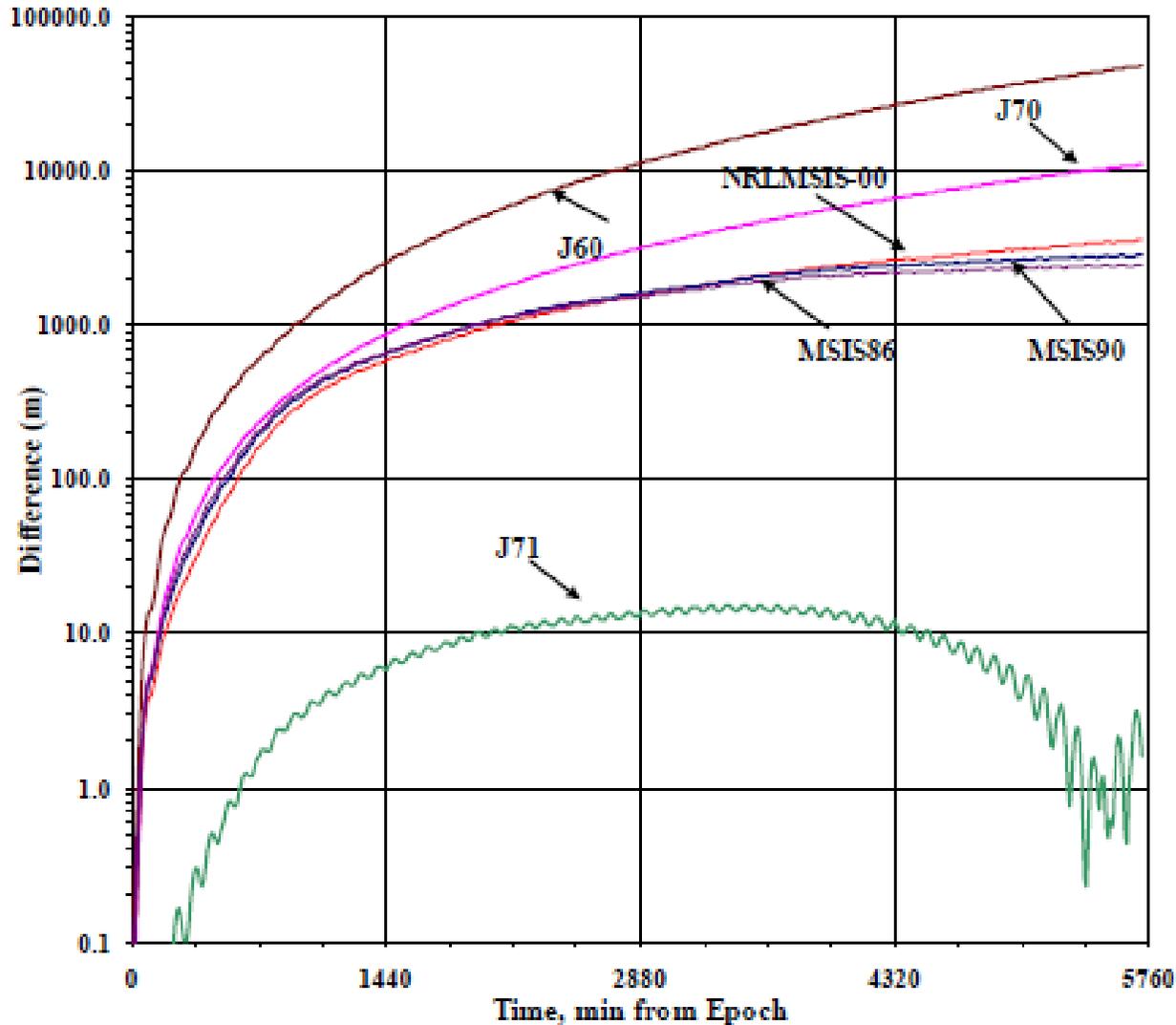
Практические сложности с учётом влияния атмосферы. Индексы. Прогноз



Различные варианты прогнозов F10.7 по модели Schatten на 24-й и 25-й циклы

- Большая неопределённость прогноза
- Отсутствие оценки погрешности прогноза
- Отсутствие регулярных обновлений по долгосрочным прогнозам

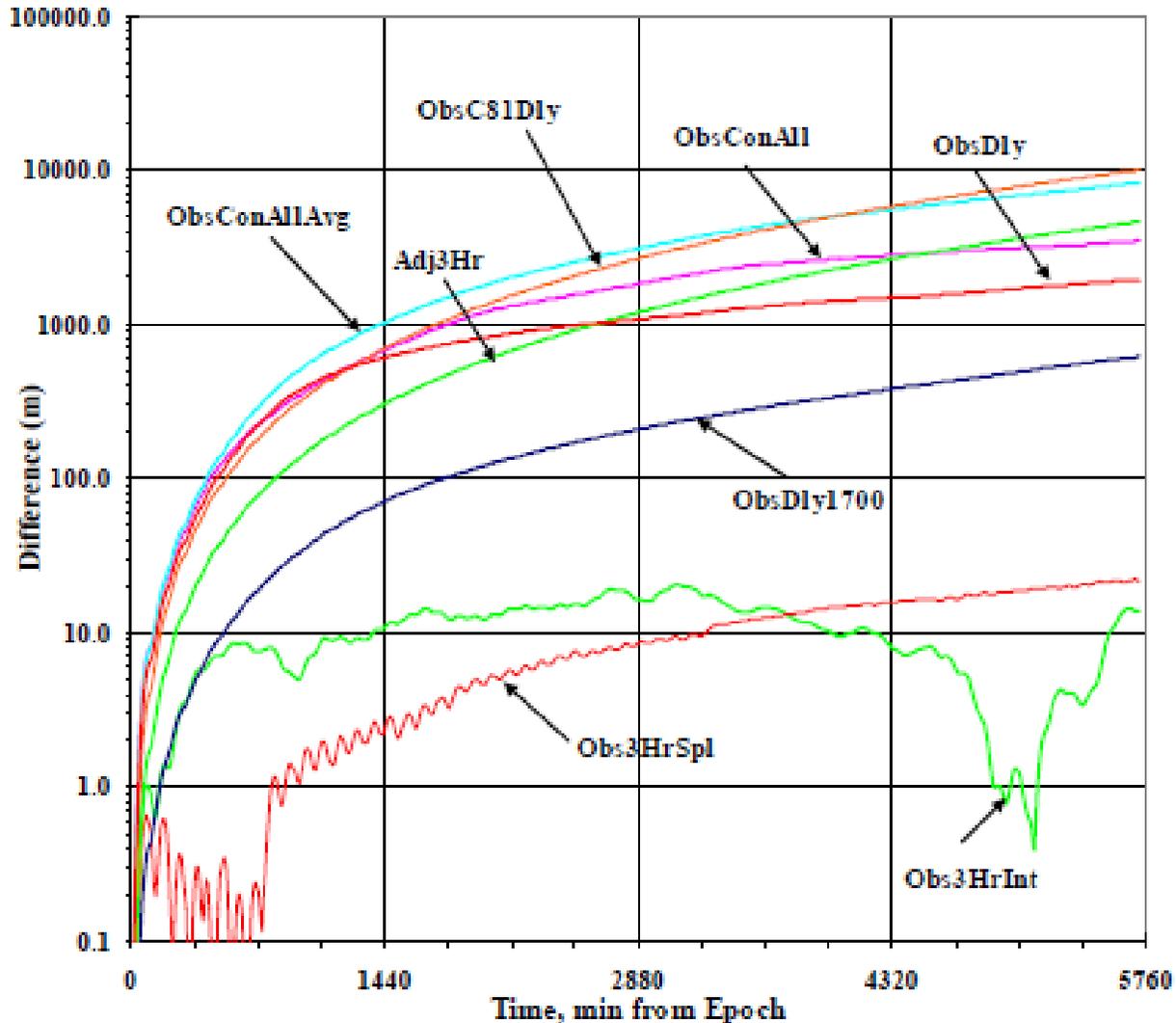
Практические сложности с учётом влияния атмосферы. Точность моделей



- Значительные различия в результатах прогноза движения при использовании разных моделей
- Отличие расчётов с использованием единственной официальной отечественной модели (ГОСТ Р 25645.166-2004) от расчётов по другим моделям весьма существенно с точки зрения решаемых задач

Отличия результатов при использовании разных моделей (основа для сравнения – модель Jacchia-Roberts)

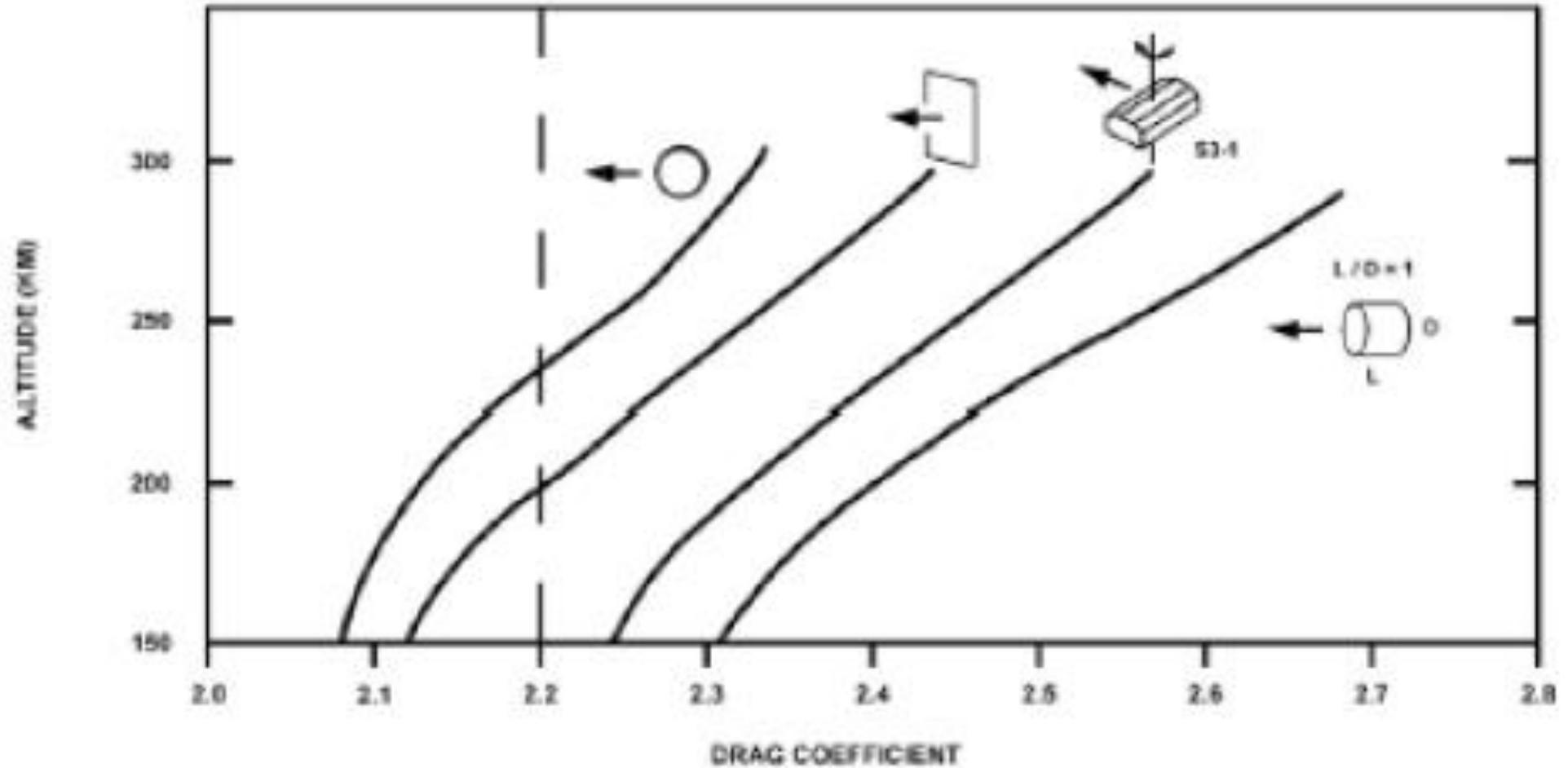
Влияние некорректности использования индексов на результат



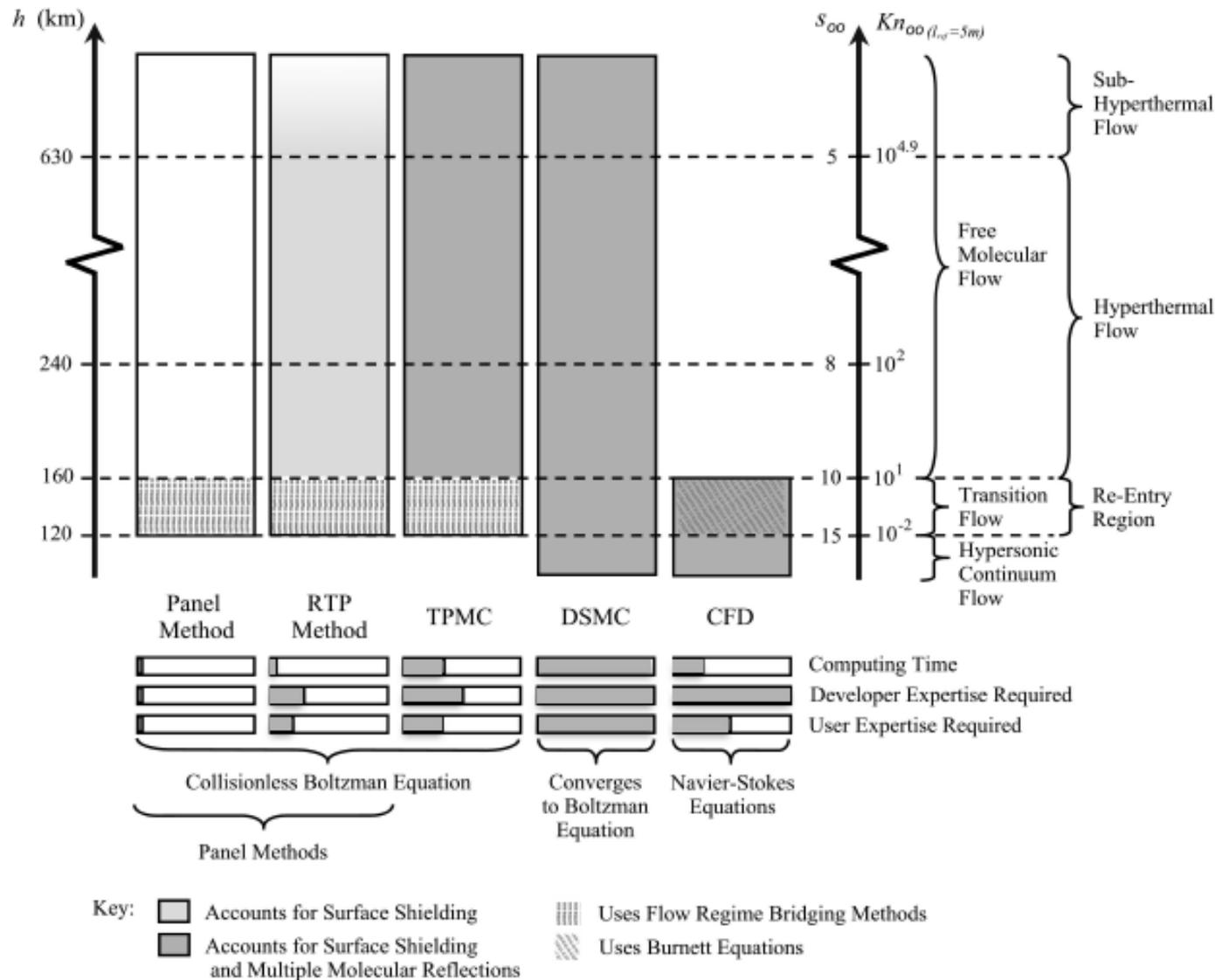
- Значительные отличия результатов для вариантов использования среднесуточных или 3-часовых значений с интерполяцией и без интерполяции
- Использование постоянного (на 24 ч) значения F10.7 вместо интерполируемого приводит к отличие в положении КО до 10 км при прогнозе на 4 сут

Отличия результатов при использовании разных подходов к обращению с индексами (тестовый КО – 21867)

- Использование прогнозируемых значений F10.7, Kp, ap для расчётов на текущий момент
- Не использование фактического времени получения значения измеренного параметра (например, 2000 UTC для F10.7)
- Использование кусочно-линейной функции для значений индексов вместо интерполяции
- Использование значения F10.7, среднего за последние 81 сутки, вместо централизованного среднего значения
- Использование измеренных и приведенных значений индексов
- Неучёт динамических эффектов, о которых может быть известно – изменение пространственной ориентации КО, изменение молекулярного взаимодействия с материалом КО и т.п.
- Ограничения, присущие определённым моделям
- Использование разных подходов к интерполяции значений индексов

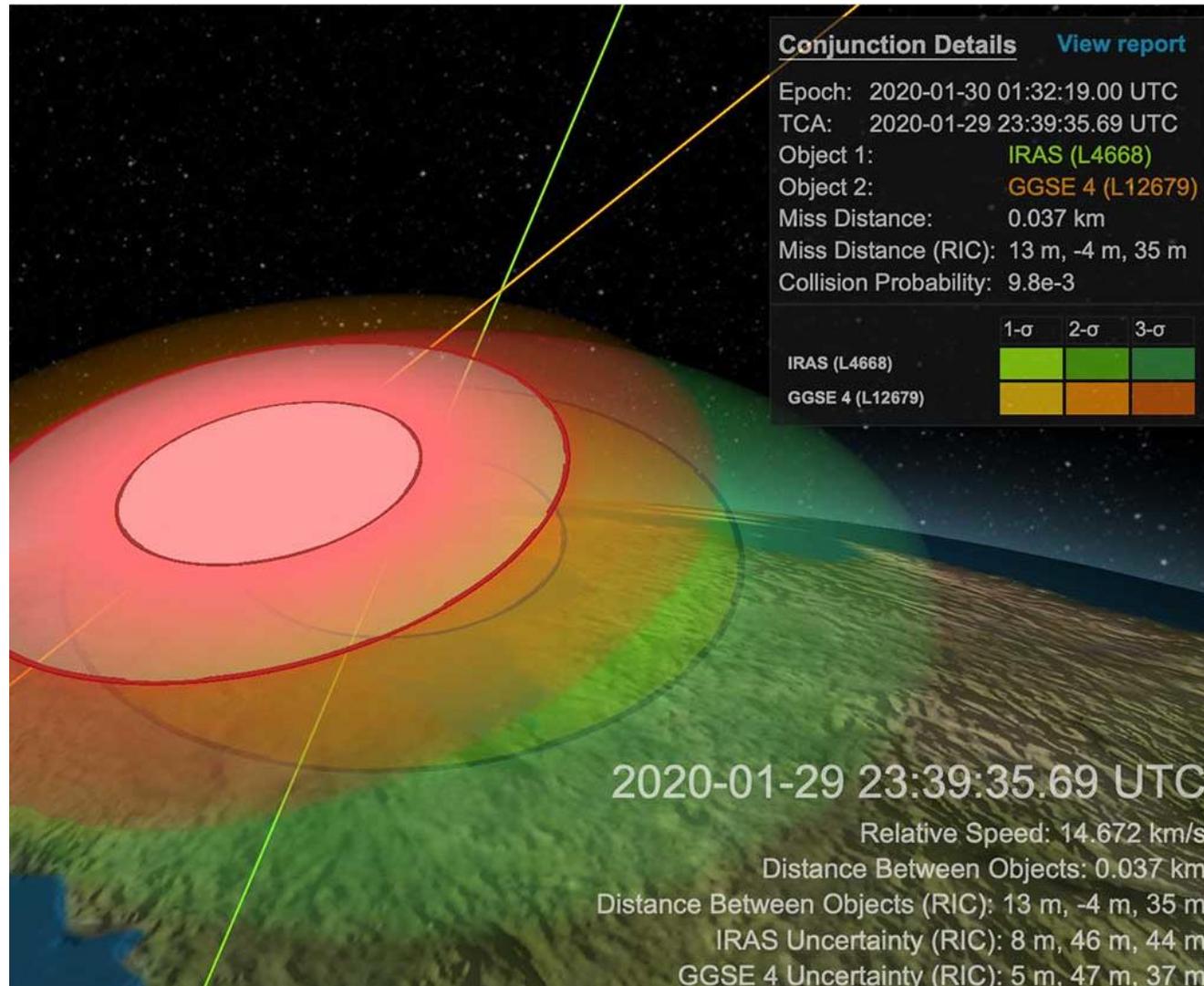


Примеры изменения значения C_d [Sentman, 1961]

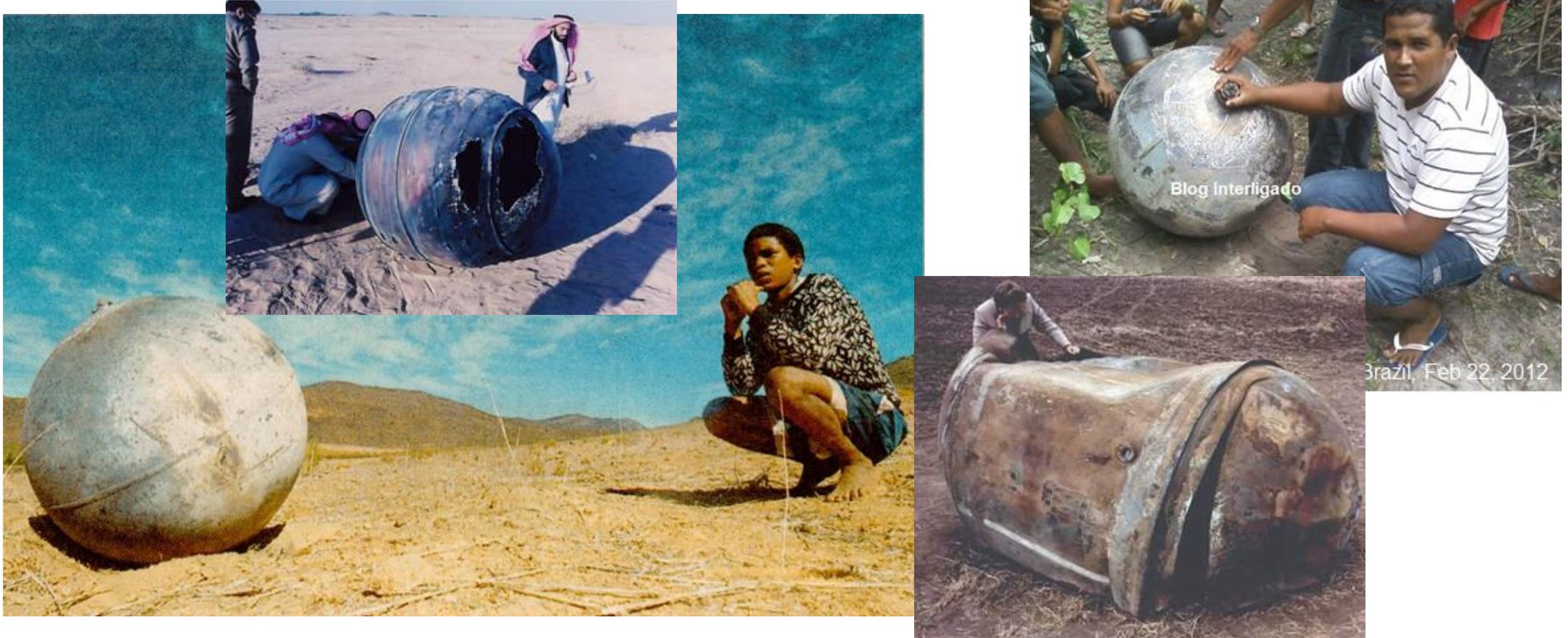


[Mostaza, Graziano, Roberts, Progress in Aerospace Sciences, 2016]

Важность корректной оценки погрешности прогноза положения ц.м. КО



Важность корректной оценки погрешности прогноза положения ц.м. КО



$$\vec{F}_r = \sum_{n=1}^4 \frac{\dot{e}_n}{c} A_{ref} \vec{C}_{r_n}$$

e_n - поток излучения

c - скорость света

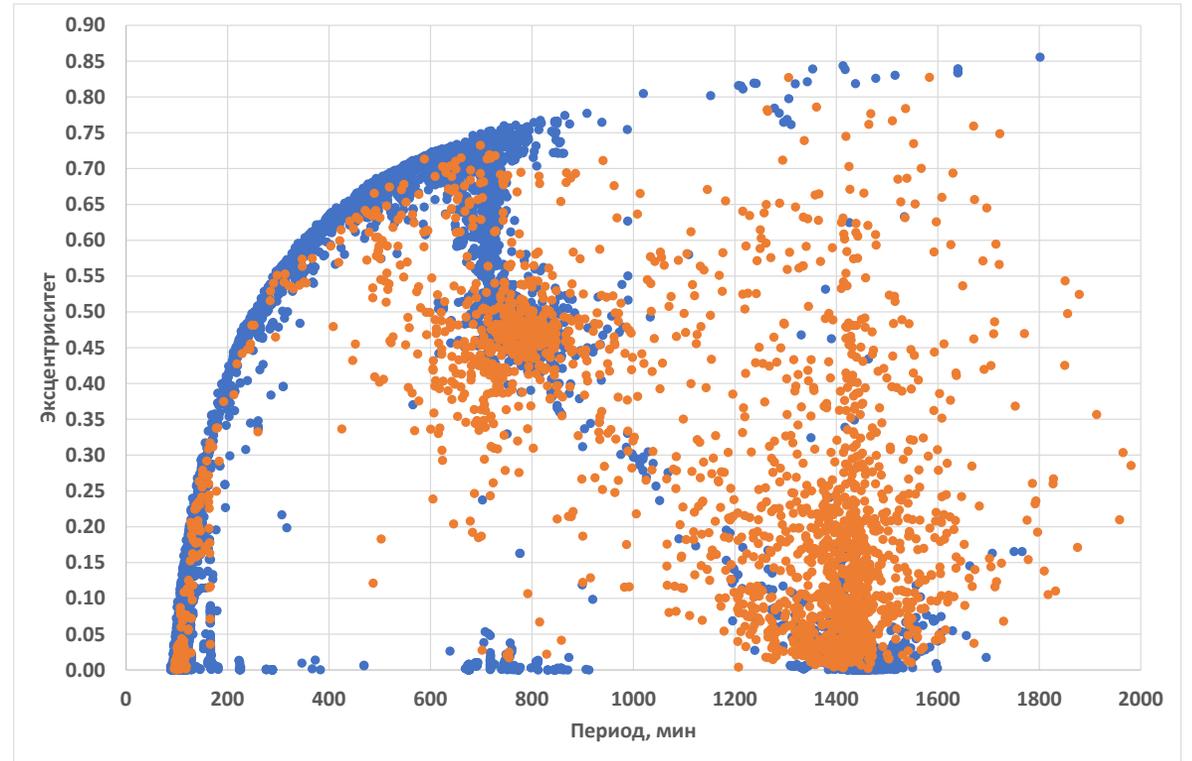
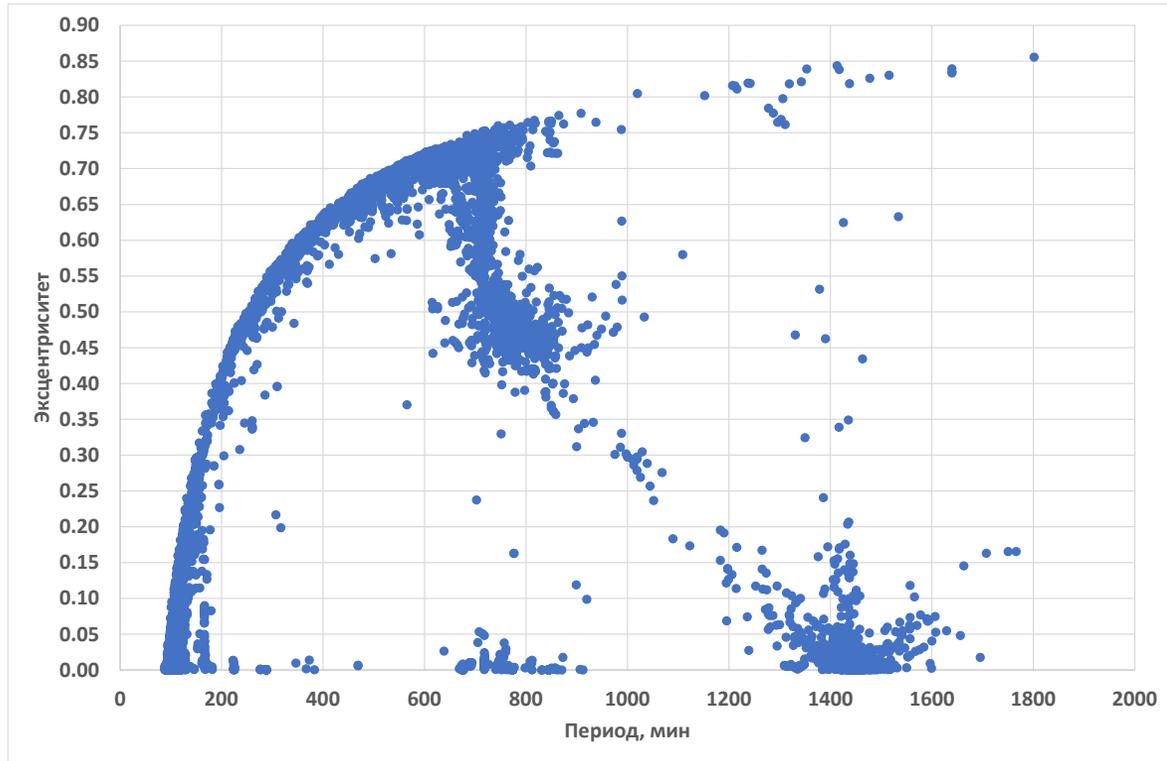
C_{r_n} - коэффициент излучения

A_{ref} - характерная площадь поверхности КО по отношению к направлению на источник потока излучения

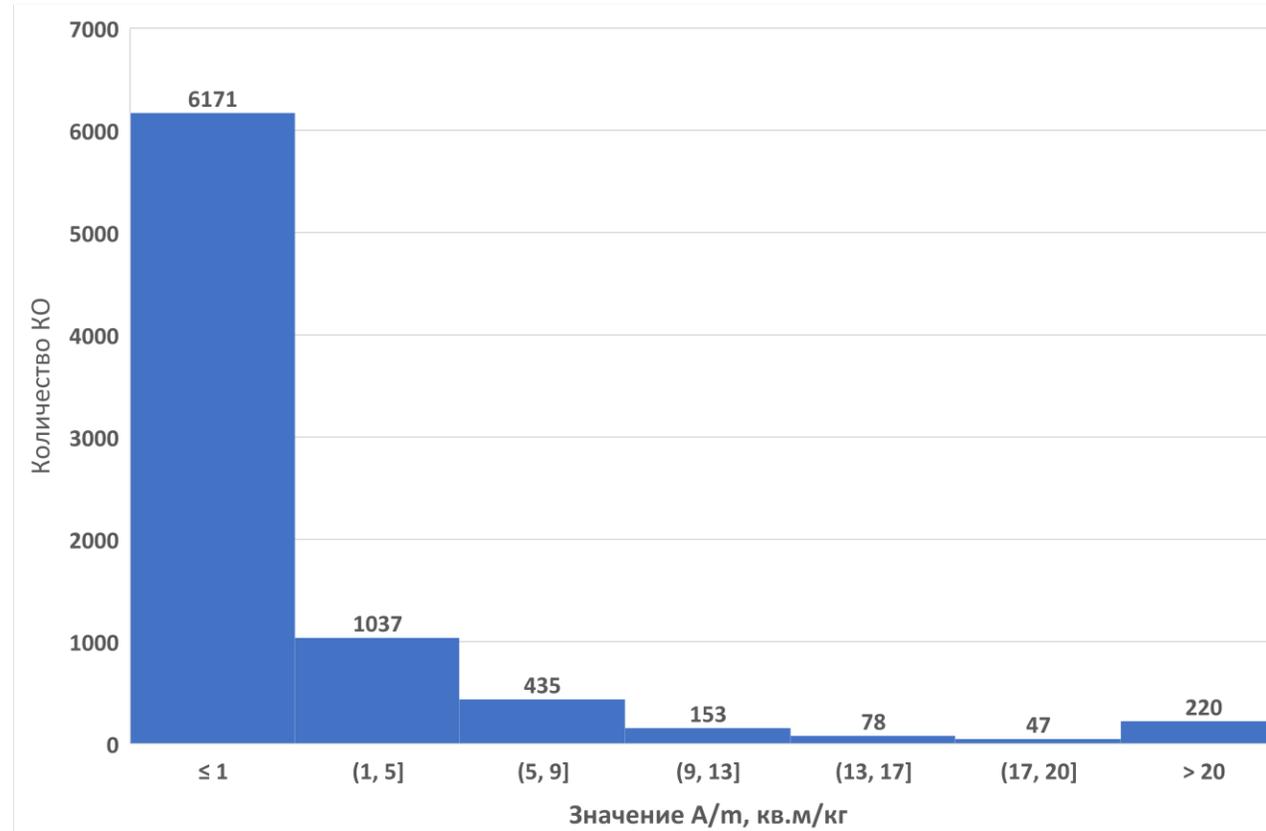
$n = 1$ до 4 – индекс для прямого излучения Солнца, переотражённого потока от Земли (альбедо Земли), теплового (ИК) потока от Земли и теплового излучения КО

Особенности применения модели потока излучения:

- в качестве модельной геометрической формы КО не рекомендуется выбирать сферу, т.к. в таком случае зеркальная компонента не влияет на движение ц.м.
- выбор учитываемых при расчёте составляющих возмущающей силы должен опираться на оценки вклада соответствующей составляющей в сравнении с вкладом других возмущающих факторов



Распределение КО с малым (< 1 кв.м/кг) и большим (≥ 1 кв.м/кг) значением ОПМ



Гистограмма распределения КО с периодом не менее 200 мин по значению ОПМ



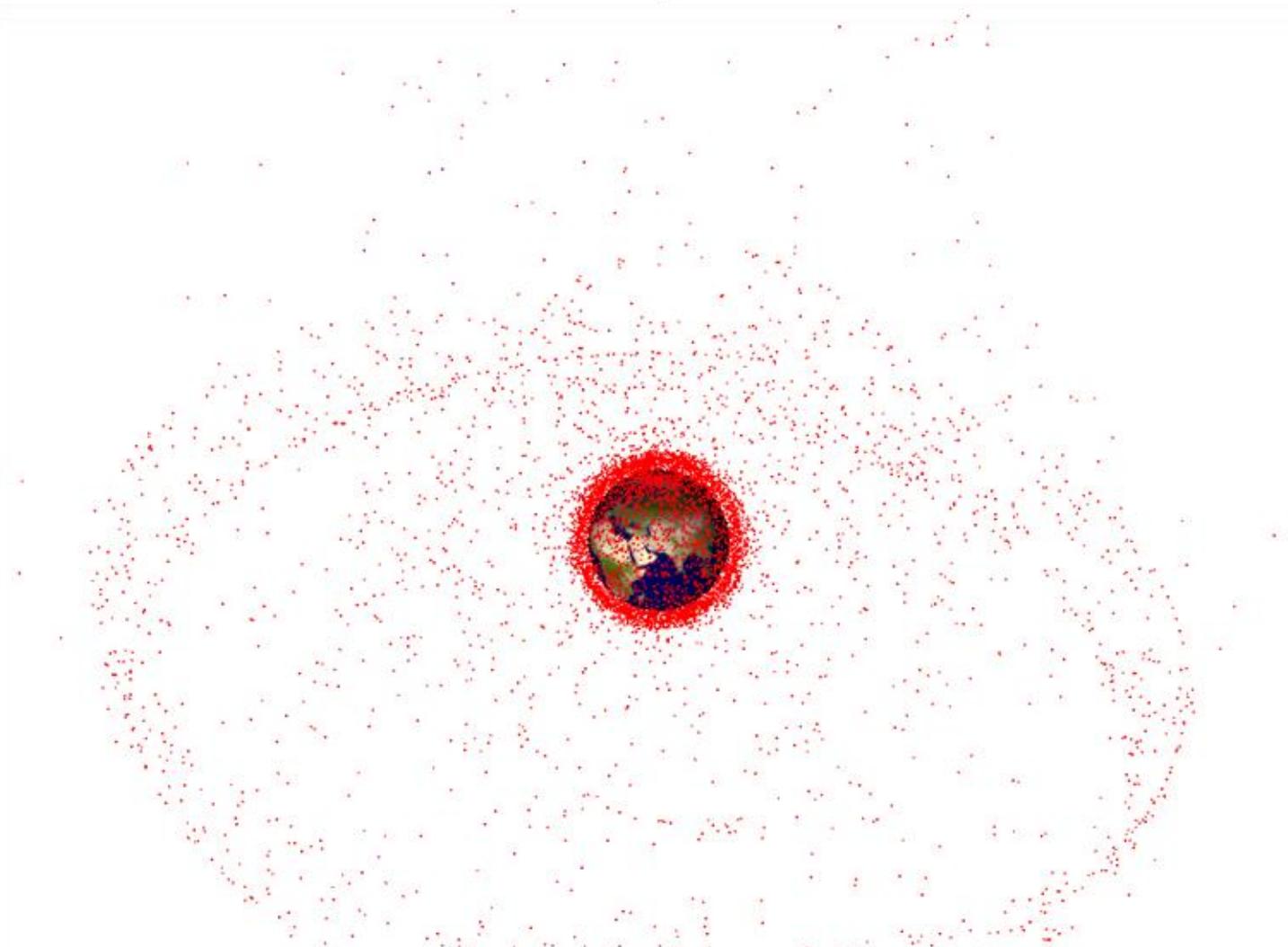
Экранно-вакуумная теплоизоляция (ЭВТИ) – многослойный материал, используемый в конструкции космических аппаратов и ракет-носителей

Особенности объектов с большим значением величины ОПМ:

- Наблюдается большая амплитуда изменения яркости (до 8 зв.вел.)
- Для некоторых фрагментов оцениваемая площадь отражающей поверхности составляет несколько квадратных метров
- Обнаружено два случая отделения фрагмента ЭВТИ от функционирующего КА

Вероятные источники образования фрагментов ЭВТИ:

- Орбитальные разрушения
- Деградация под действием факторов внешней среды?
- Электризация внешней поверхности?



БЛАГОДАРЮ ЗА ВНИМАНИЕ!