Актуальные вопросы моделирования техногенного загрязнения околоземного космического пространства.

А.И. Назаренко Центр космических наблюдений Росавиакосмоса

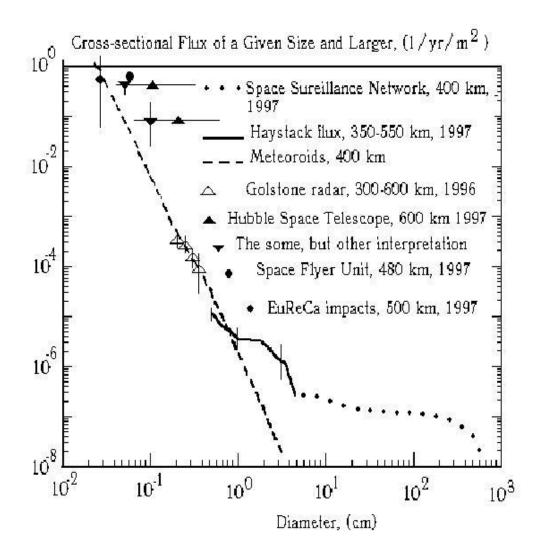
Резюме

Основная трудность решения связанных с КМ прикладных задач вызвана недостатком экспериментальных данных. Поэтому для определения характеристик техногенного загрязнения в различных точках упомянутого пространства привлекается дополнительная (априорная) информация. Эффективное использование

экспериментальных данных и априорной информации – основная проблема моделирования космического мусора (КМ).

В докладе кратко изложены данные о трех моделях космического мусора: ORDEM2000 (NASA), MASTER'99 (ESA) и SDPA (модель автора). Обсуждаются особенности применяемых методов моделирования и их сравнительные характеристики, а также основные проблемные вопросы совершенствования моделей.

1. Введение



В многомерной области "время – высота – размеры КМ" измерения были проведены только в относительно не больших локальных регионах.

Это обстоятельство характеризует основную трудность достоверной оценки пространственновременного распределения КМ.

2. Модели

Модели	MASTER'99	ORDEM2000	SDPA-E
	(\dots)	(EVOLVE)	(SDPA2000)
OC	Windows	Windows	Windows
Высоты	200 - 38800	200-2000	300-2000
	KM	КM	\$5 400-36200
D минимум	0.001	0.01	1
	MM	MM	MM
Источники	конкретные	сумма	сумма
Концентрация	да	да	да
Удельный поток	да	да	да
относит. КА	,		
Отн. скорость	(да	да
Подход	да) Детерминиров.	Смешанный	Стохастический

3. Определение концентрации

MASTER'99.

Число ячеек 680000 Для 5% точности необходимо >272 000 000 прогнозов

$$\rho_n(r_i,\alpha_k,\beta_j)_{KO} = \frac{\Delta t_n(ijk)}{V_{ijk} \cdot T}$$

ORDEM2000

$$n$$
 ячеек 16×18=288 n прогнозов =288×8000≈ ≈ 2 300 000

$$\rho(r,\beta)_{KO} = F(r,\beta, r_p,r_a,i)$$

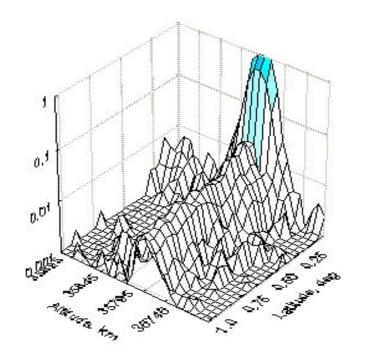
SDPA2000

$$\rho(r,\beta)_{\Sigma} = F[r,\beta, N_{\Sigma}, p(h_p), p(e), p(i)]$$

$$\Delta t(r,h_p,e) = ...$$

Число прогнозов для расчета $\Delta t(...) = n(r) \cdot n(h_p) \cdot n(e) = 16 \times 16 \times 8 \approx 2000$

Проблема: оптимизация разбиения ОКП на ячейки



$$\sigma\left(\frac{\delta\rho}{\rho}\right) \approx \frac{1}{\sqrt{N}}$$

$$p(h_p, e, i) \neq p(h_p) \cdot p(e) \cdot p(i)$$

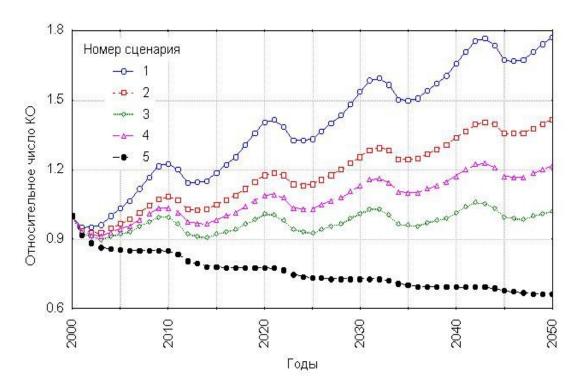
Оценки концентрации (Р) в ΓEO при различ-

ных размерах ячеек по высоте и широте

$\Delta_{h}, \qquad 100 \qquad 100 \qquad 100 \qquad 25 \qquad 10$	10
$\Delta b_{\mu}^{\text{KM}}$ p 1. 0 0. 5 0. 25 0. 1 0. 25 0. 10	0.05
ρ _{, KM} -3 4.15 E -9 7.36E-9 1.38E-8 3.12E-8 4.58E-8 1.04E-7	7 2.56E-7

4. Прогнозирование техногенного загрязнения

$$\frac{\partial p(t,h)}{\partial t} = V(t,h) \left[\frac{\partial p(t,h)}{\partial h} - \frac{p(t,h)}{H(t,h)} \right] + dp(t,h,...)$$



Прогноз числа КО размером более 1 см

$$dp(t,h) = ...$$

Сценарии:

1: как было;

2: 1+без сопутству- ющих деталей;

3: 1+без взрывов;

4: (запуски + меры 2 и 3)×0.5;

5: все меры (2 и 3)

Данные о номинальном ежегодном приросте числа КО в области высот до 2000 км

КА: 52.0; PH: 61; технологические КО размером >20см: 100 Номинальное ежегодное число взрывов: 3 Среднее число КО d>20см на 1 взрыв: 39 Отношение числа КО размером более 1 см к номинальному приросту числа КО размером d>20см: k(d)=54.5.

Результаты прогноза на интервале 1960 - 2000.

Значения концентрации (ρ) частиц разных размеров d, см от 0.5 от 1.0 от 2.5 от 5.0 от 10.0 >20 до 1.0 до 2.5 до 5.0 до 10.0 до 20 ρ_{max} , км⁻³ 6.4E-6 1.0E-6 2.1E-7 7.1E-8 2.3E-8 5.4E-8

Моделирование фрагментов разрушений (взрывов)

	ORDEM&MASTER	SDPA
1. Случаи	все	$\xi \!\! imes \!\!p(\!h_p\!)_{cat}$
2 а Фуща ний.	конкретные	$p(h_p)_{\it cat}, \ k(d)$
Энхария теристики	$N(m), \Delta V_{max}(m)$	$\Delta V_{max}(m)$
распотайный	ΔV , направление	$\Delta V_{,}$ направление
выбор	Для каждого	$\Delta p(h_p), p(e)$
Ваєме ттов	фрагмента	
6.	поштучный	$p(h_p,d)$
Прогноз		-

Моделирование последствий столкновений

ORDEM&MASTER

Столкновения КО размером > 10 см

SDPA

Столкновения КО размером > 0.1 см

Вклад последствий столкновений

Накопленное число столкновений КО (N_c) размером более d d, cм >0.1 >0.25 >0.5 >1.0 >2.5 >5.0 >10 >20 N_c 6200 592 122 15.6 6.30 2.67 1.48 **0.96**

Роль априорной информации при прогнозе:

Учет вековых возмущений (атмосфера); Распределение баллистических коэффициентов КО; Распределение скорости разлета фрагментов при взрыве; Распределение высот взорвавшихся КО; Модель фрагментации при столкновениях.

Проблемные вопросы прогнозирования:

- 1. Повышение достоверности результатов моделирования на основе уточнения априорной информации;
- 2. Настройка параметров модели по измерениям;
- 3. Учет последствий столкновений более мелких КО в том числе и микрометеоритов;
- 4. Выработка рекомендаций по предотвращению монотонного роста техногенного загрязнения.

5. Удельный поток КМ относительно КА

Мгновенное значение (все модели): $Q(t) = \rho(t) \cdot V_{rel}(t)$ (1)

ORDEM

$$\overline{Q}_{\Sigma} = \sum_{l} \rho_{KA} (t_{l}) \cdot \Delta U_{l} \cdot \sum_{m} Q(t_{l})_{m} = \sum_{l} \rho_{KA} (t_{l}) \cdot \Delta U_{l} \cdot \overline{Q}(t_{l})$$
(2)

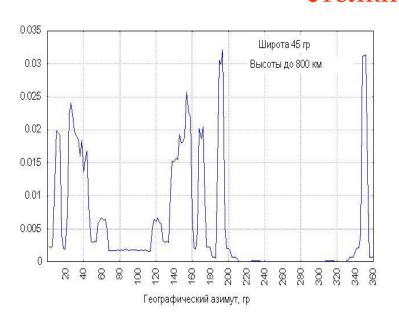
$$\overline{Q}(t_l) = \rho_{l,\Sigma} \cdot \sum_{m} \rho(t_l)_m \cdot V_{rel}(t_l)_m / \rho_{l,\Sigma} = \rho_{l,\Sigma} \cdot \overline{V_{rel}(t_l)}$$
(3)

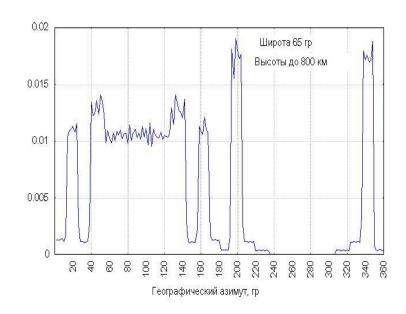
$$\rho_{KA}(t_I) \cdot \Delta U_I = \frac{\Delta t_I}{T}$$
 (4). Подстановка (4) в (2) дает:

MASTER
$$\overline{Q}\Sigma = \frac{1}{T} \cdot \sum_{l} \overline{Q}(t_{l}) \cdot \Delta t_{l} \quad (5)$$
SDPA
$$\overline{V}_{rel}(t) = ?$$

$$\overline{V_{rel}}(t) = \sum_{j} p(t, Az_{j}) \cdot V_{rel}(t, Az_{j}) \cdot \Delta Az_{j}$$
 (6)

Распределения величины и направления скорости столкновений





$$\overline{V}_{rel} = \overline{V}_{KM} - \overline{V}_{KA}$$

- Относительная скорость

A - ее отклонение относительно направления V_{KA} $pV_{rel}(A)$ - статистическое распределение направлевлений, построенное на множестве частиц

pQrel(A) and pVrel(A) distributions as well as the angular dependence of the relative velocity

SDPA2000

ORDEM2000

$$pQ_{rel}(A) = \frac{pV_{rel}(A) \cdot V_{rel}(A)}{\int_{A} pV_{rel}(A) \cdot V_{rel}(A) \cdot dA}$$

13

Collision velocity for SOs of different sizes, km/s

Estimate >1 mm >1 cm >10cm ORDEM2000 7.74 7.77 7.69 Vv, km/s 8.62 7.74 7.87 Vq, km/s 10.53 10.01 10.20 SDPA200010.56 10.56 10.56

above are quite important. They testify rather convincingly, that in calculating the average values of collision velocity (the "Average impact velocity") in the ORDEM2000 model the averaging is carried out over the set of possible directions of the relative velocity, rather than over the set of directions of possible collisions.

6. Comparison of debris flux model data for manned missions

Data on the flux of SD of different sizes relative to the ISS

7. Общие проблемные вопросы моделирования космического мусора

- 1. Совершенствование методики моделирования на основе комплексного учета различных источников загрязнения.
- 2. Повышение достоверности моделей на основе использования новых (будущих) измерений. Регулярная настройка параметров моделей по текущей информации.
- 3. Обеспечение доступности компьютерных моделей для их широкого использования при проектировании и эксплоатации KA. Software, информация в Интернете.
- 4. Как организовать систематическую работу по п.п. 1, 2, 3? Кто должен быть заказчиком:
 - государственная организация или некая коммерческая (частная) фирма?