



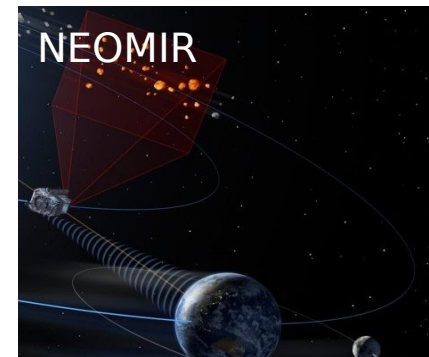
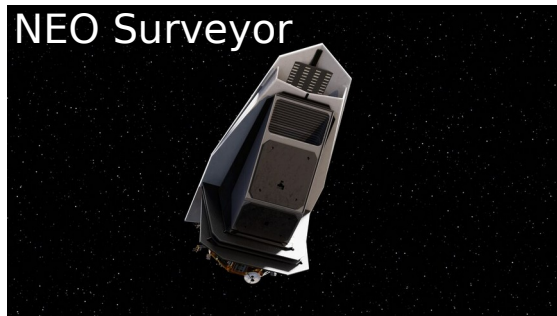
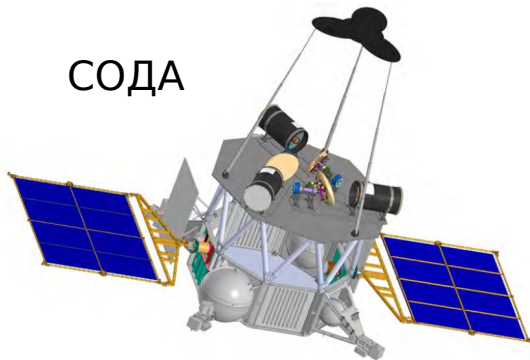
22-я международная конференция  
"Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса"

## О распределении сближений ОСЗ с Землёй

Р.В. Золотарёв, Б.М. Шустов  
Институт астрономии РАН

# Введение

- В настоящее время усиливается интерес к проблеме астероидно-кометной опасности, активно ведётся разработка систем обнаружения и сопровождения потенциально опасных небесных тел. Для построения более эффективных систем необходимо знать свойства распределения потенциально опасных тел в околоземном космическом пространстве.
- Особую опасность представляют тела, приходящие со стороны дневной полусферы. Для наблюдения за такими телами представляется перспективным использовать космические телескопы (например СОДА, NEO Surveyor, NEOMIR).



- В данной работе под околоземным космическим пространством (ОКП) будет пониматься пространство внутри сферы радиусом 0.01 а.е. (1.5 млн км) вокруг Земли.
- Современное понимание потенциально опасного тела включает объекты размером от 10 м и более [Шустов+2015]. Согласно оценкам, открыто лишь 0.03% популяции декаметровых астероидов, сближающихся с Землёй ( $q < 1.3$  а.е.), поэтому в этом диапазоне необходимо использовать модели населения АСЗ.
- Основная идея расчёта состоит в том чтобы взять популяцию астероидов, сближающихся с Землёй (АСЗ) и проинтегрировать её движение, фиксируя входы в ОКП.
- Модели населения АСЗ предлагают различные оценки для полного количества астероидов размером более 10 м, от 11.5 млн (NEOMOD) до 45 млн (NASA) и 65 млн (NEOPOP).

## The Hazard by the Numbers



	10 meters	50 meters	140 meters	1000 meters	10,000 meters
<b>How Big?</b>	10 meters	50 meters	140 meters	1000 meters	10,000 meters
<b>How Often?</b>	~1 per decade	~1 per 1000 years	~1 per 20,000 years	~1 per 700,000 years	~1 per 100 million years
<b>How Bad?</b>	Very bright fireball, strong sonic boom could break windows if close to habitation	Local devastation, regional effects, may or may not leave an impact crater	Crater of 1–2 kilometers in diameter, deadly over metro areas/states, mass casualties	10-kilometer crater, global devastation, possible collapse of civilization	100-kilometer crater, global devastation, mass extinctions of terrestrial life
<b>Approx. impact energy (megatons)</b>	0.1	10	300	100,000	100,000,000
<b>How Many?</b>	~45 million	~230,000	~25,000	~900	4
<b>% Discovered</b>	0.03%	7%	40%	95%	100%
<ul style="list-style-type: none"> <li><span style="color: #4F81BD;">●</span> Located</li> <li><span style="color: #2E4A6A;">●</span> Not located</li> </ul>					

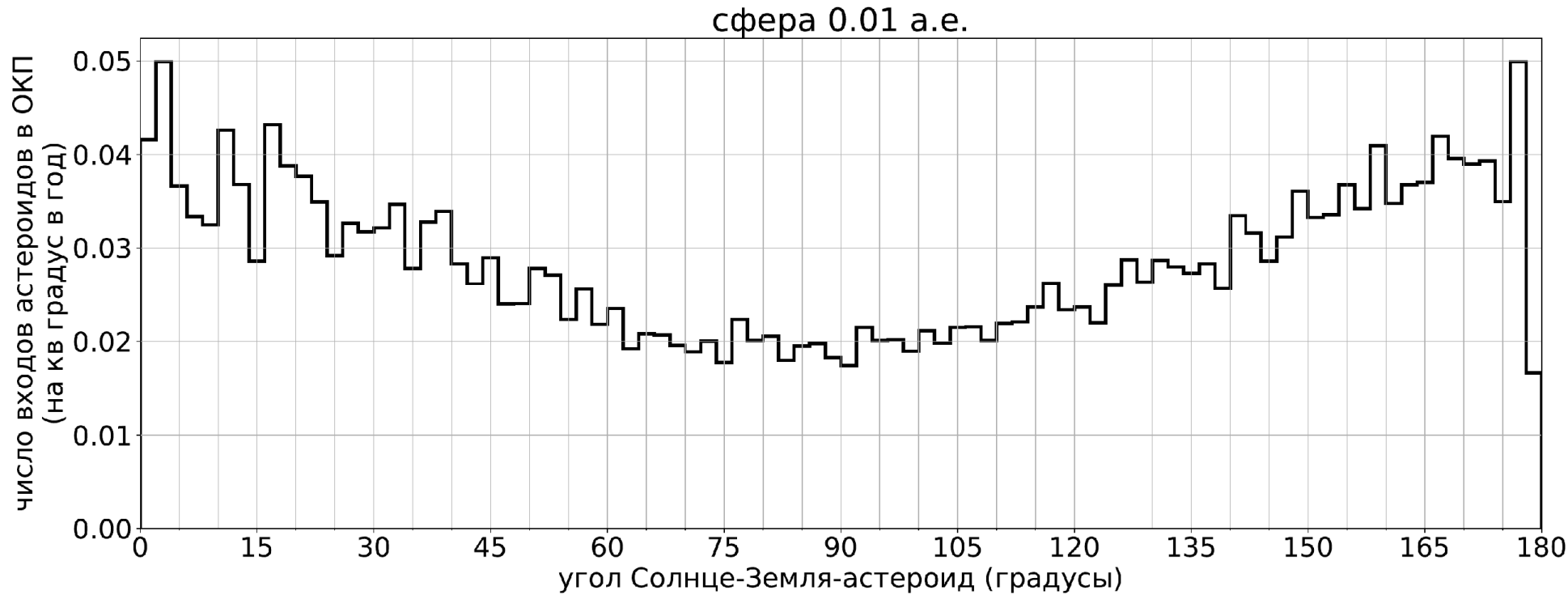
## **Задачи:**

- Уточнить темп входа астероидов в ОКП, в частности со стороны дневной полусферы.
- Получить параметры распределения астероидов, входящих в ОКП по направлениям и скорости.

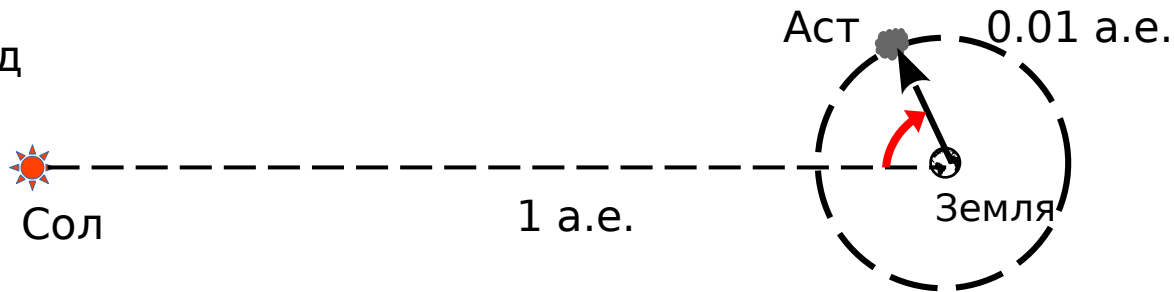
## **Методика:**

- Генерация популяции АСЗ при помощи программы NEOMOD [Nesvornyy+2024]. Численность популяции  $N_0=11.5 \cdot 10^6$ .
- Интегрирование движения астероидов в Солнечной системе на 100 лет с записью входов в околоземное пространство при помощи комплекса REBOUND [Rein+2012,2015,2019]

# Распределение по направлениям входа



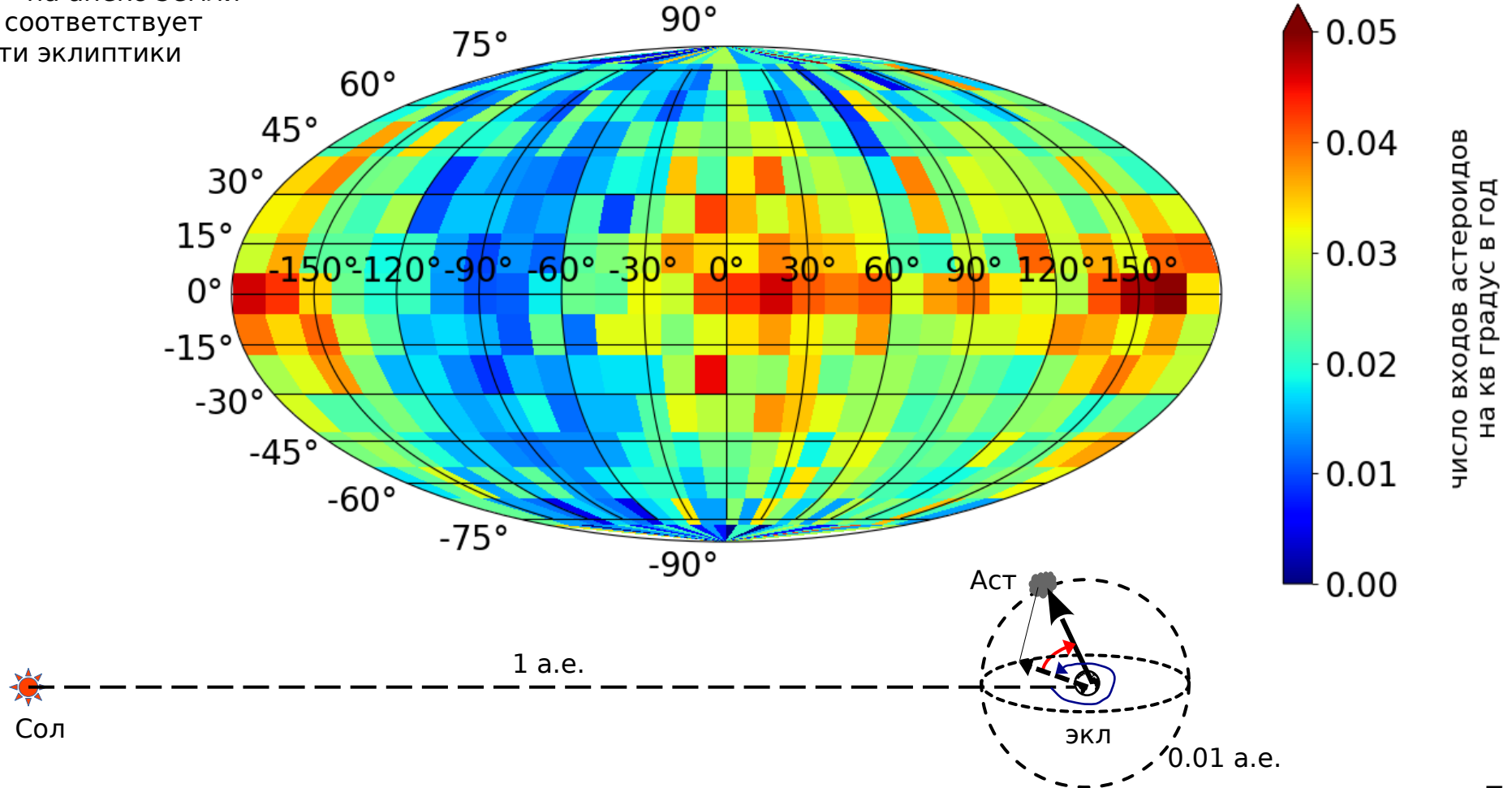
- Всего (в среднем) 1040 входов в год
- Одновременно (в среднем) в ОКП находится 4 объекта (согласуется с работой Шустов+2017 по модели NEOROP)



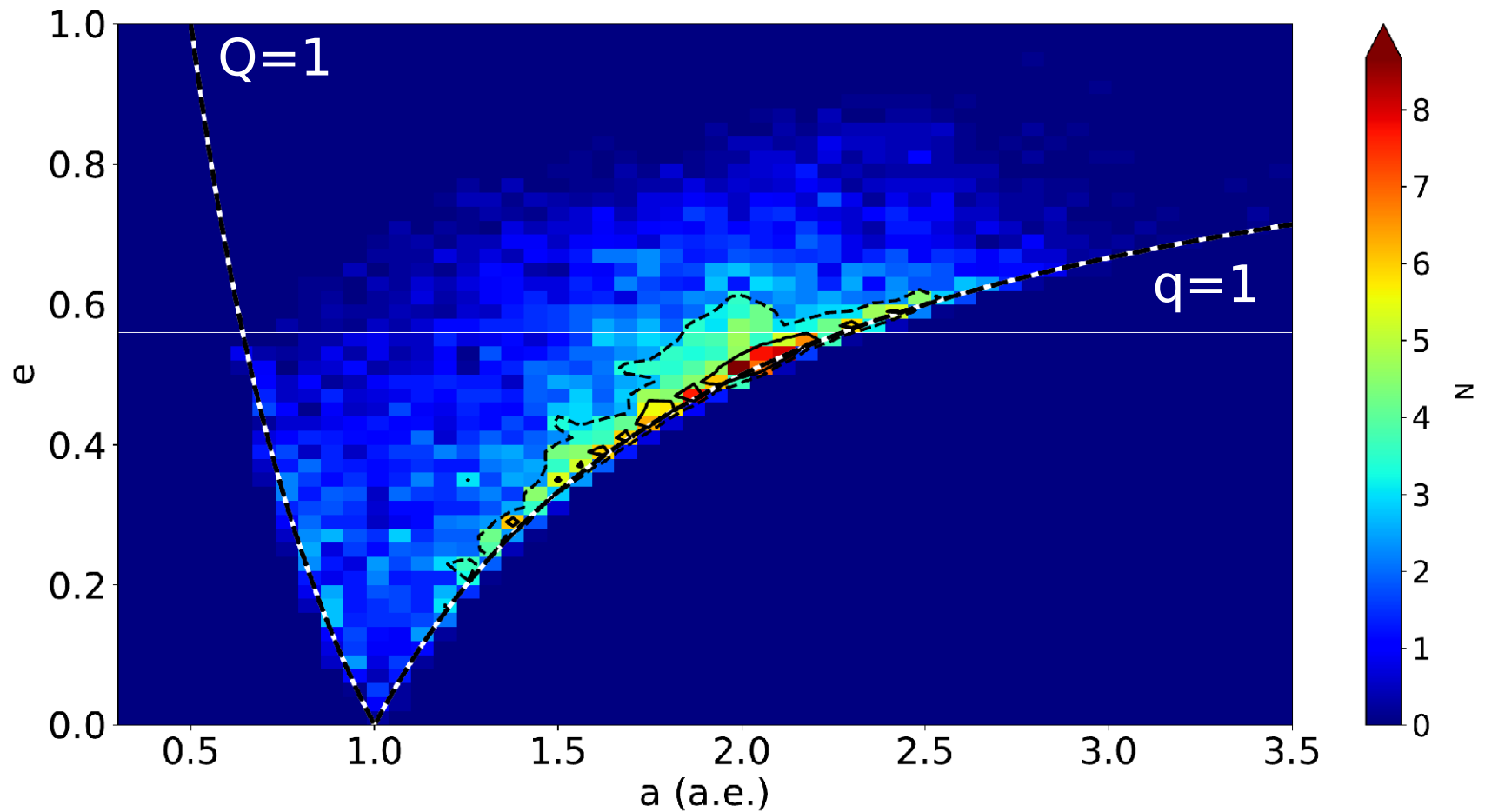
# Распределение по направлениям входа

(0°,0°) - на Солнце  
(0°,-90°) - на апекс Земли  
экватор соответствует  
плоскости эклиптики

сфера 0.01 а.е.



# Распределение по элементам орбит а-е

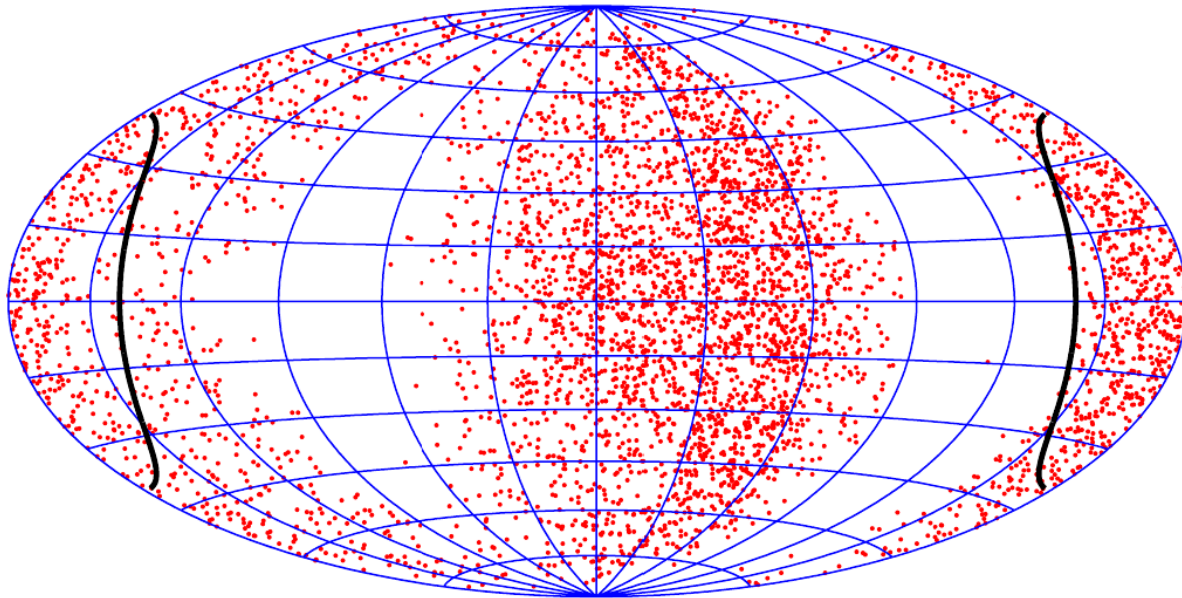




# Распределение по направлениям в(ы)хода

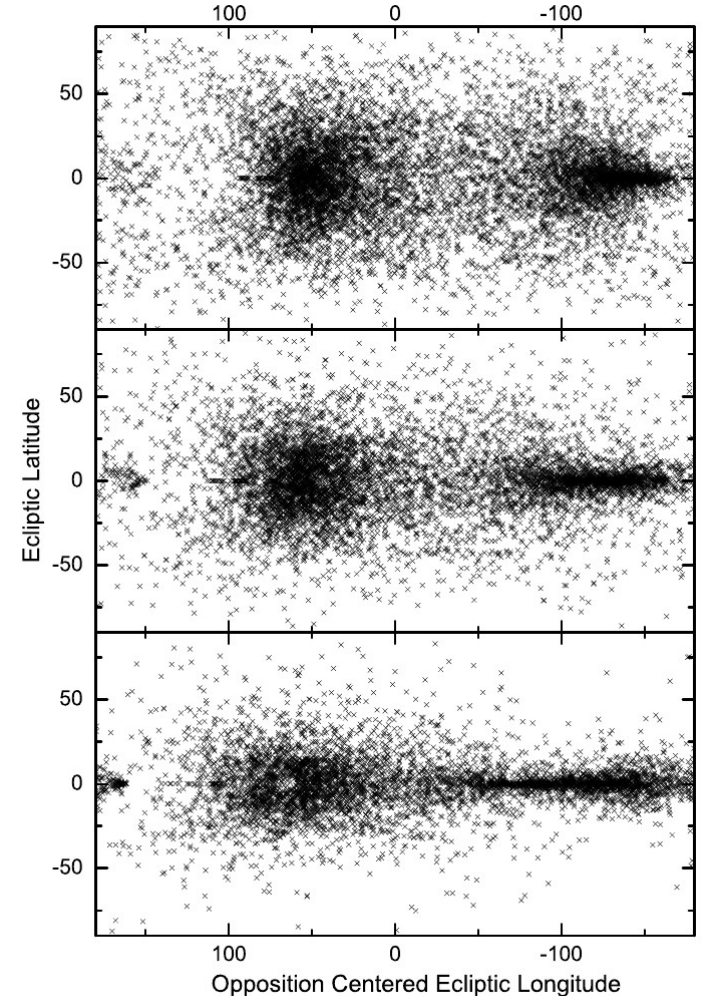
Распределение модельных ударников на небесной сфере, при интегрировании назад

Farnocchia et al 2012

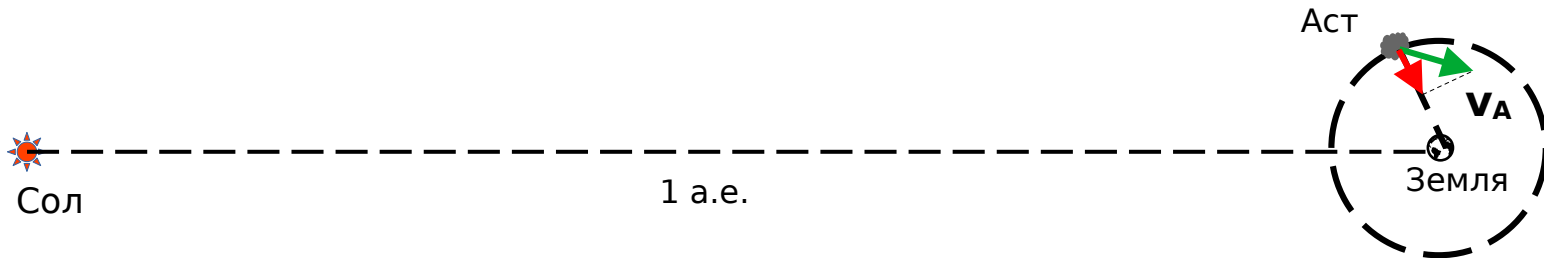
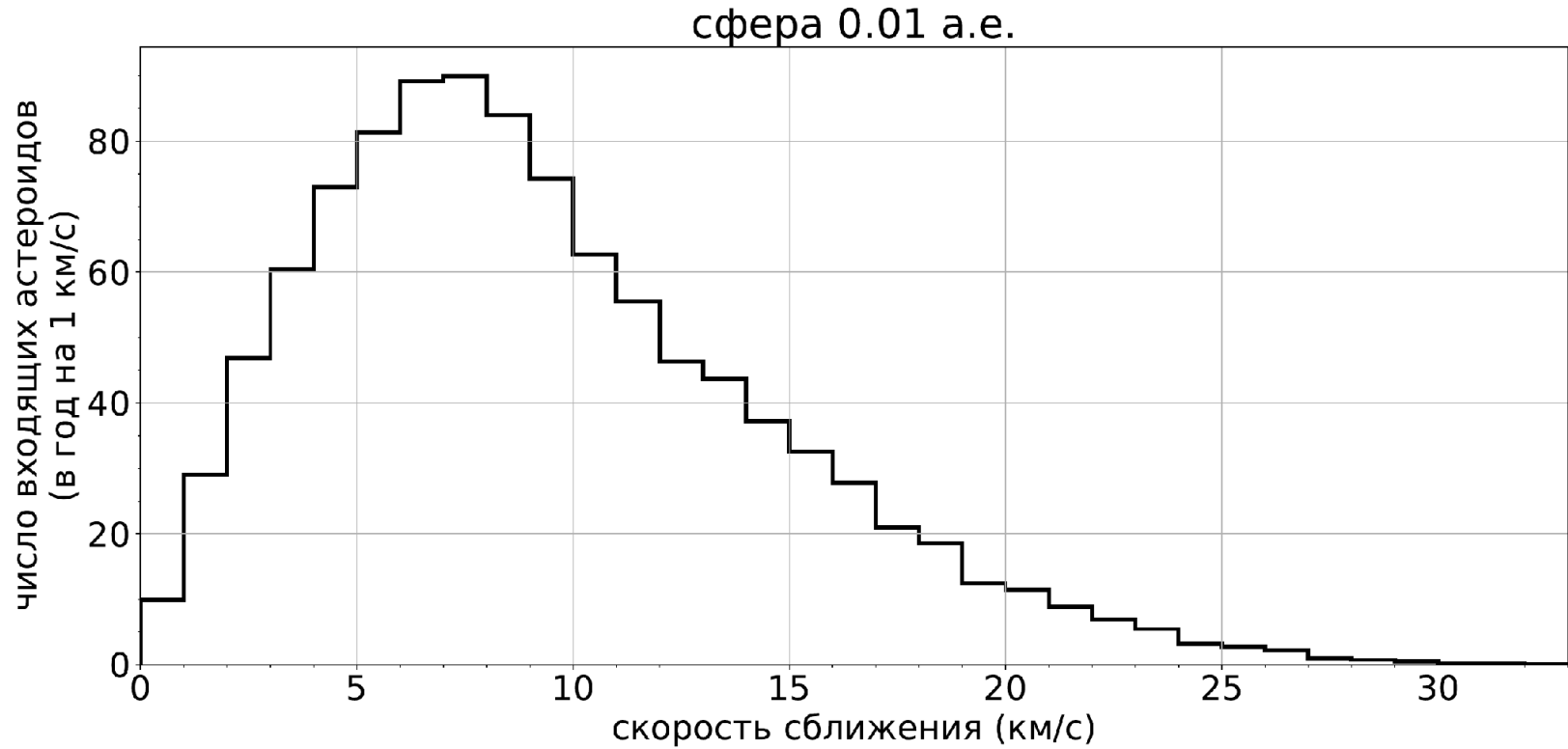


**Fig. 3.** The radiant distribution of the simulated impactors of Chesley et al. (2004). The radiants are shown in an equal area projection of the sky centered on the opposition; the angular coordinates are ecliptic longitude minus the longitude of the Sun, and ecliptic latitude. The bold lines refer to 40° of solar elongation.

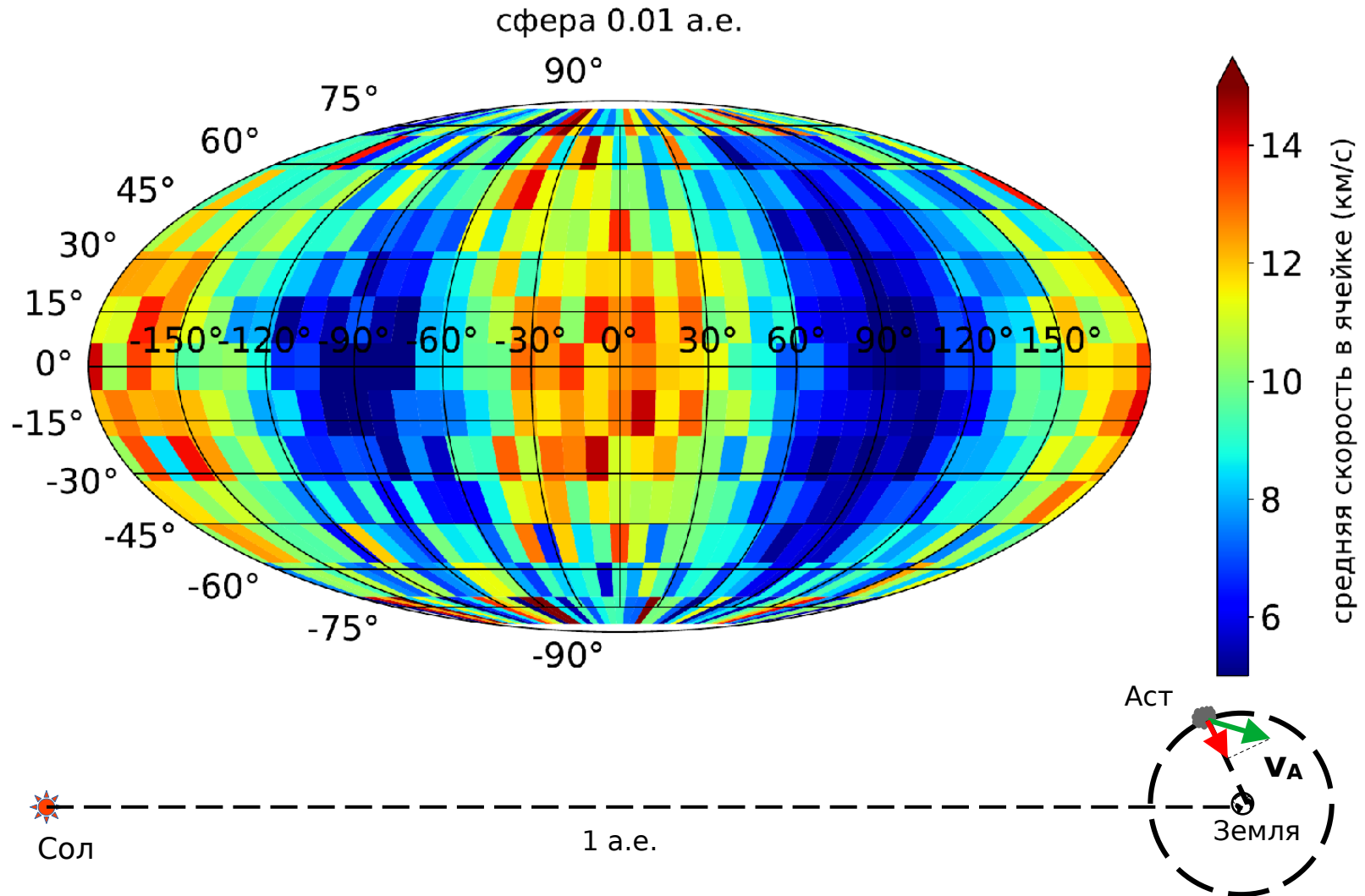
Veres et al 2009



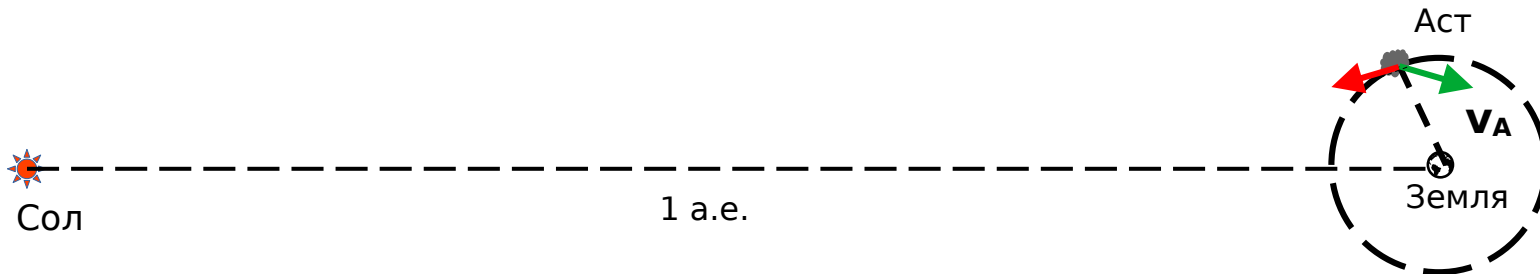
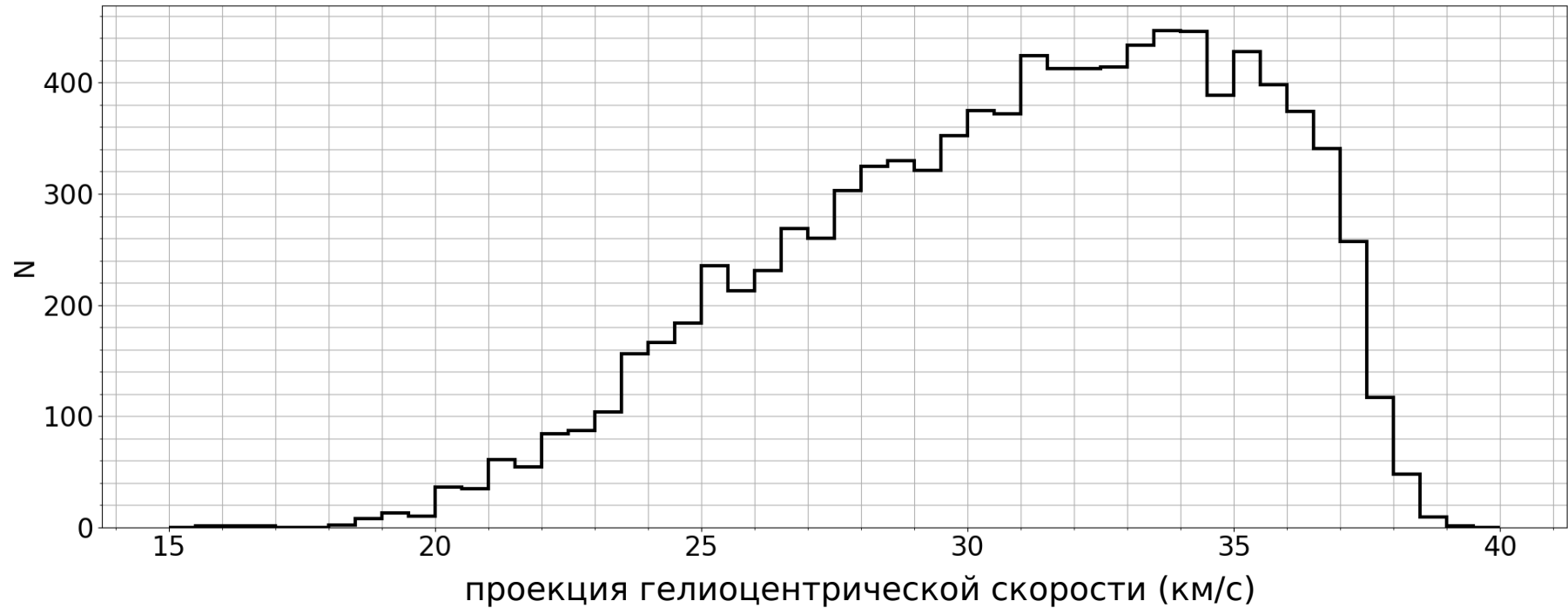
# Распределение по скорости сближения (проекция на радиус)



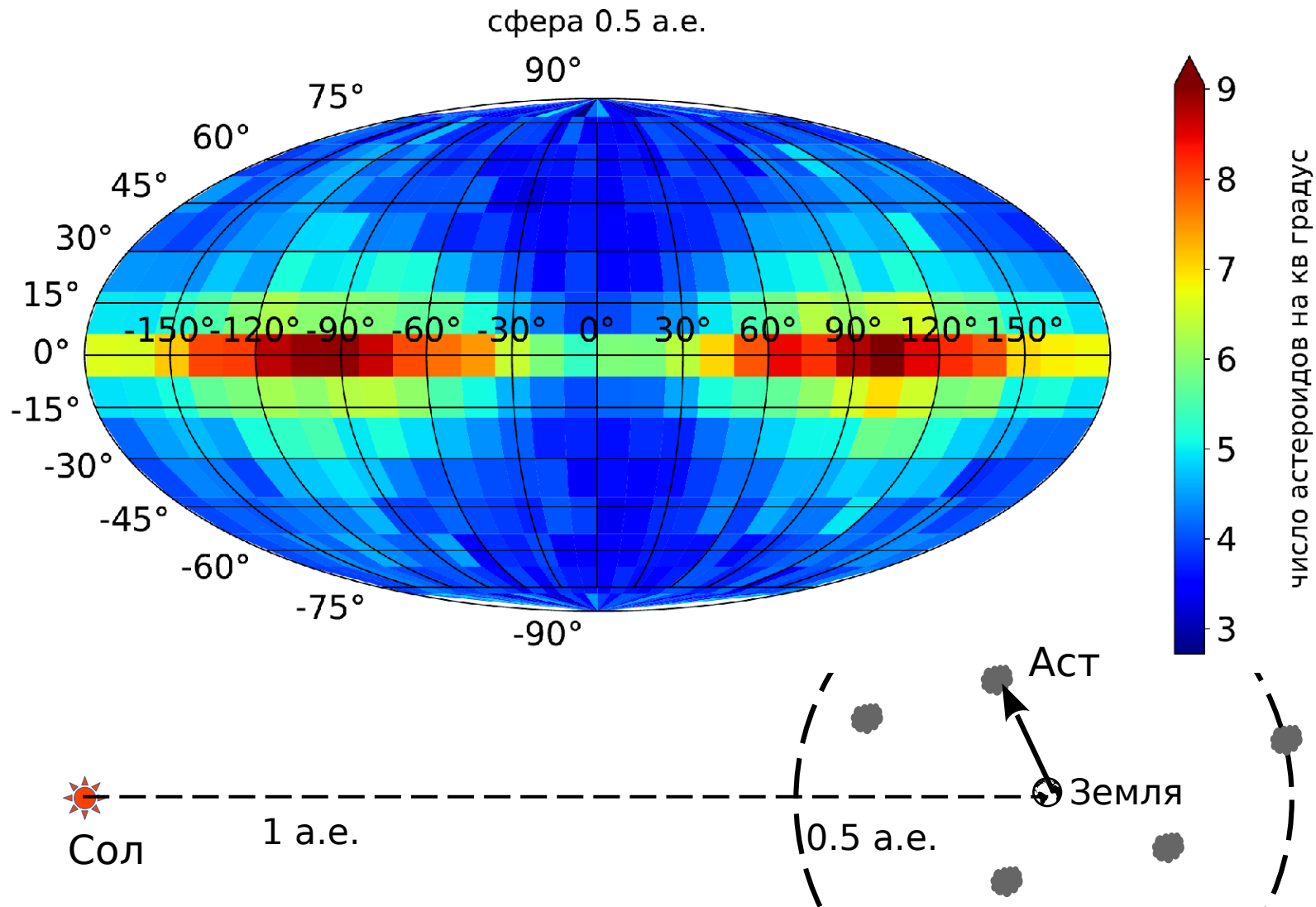
# Распределение по скорости сближения (проекция на радиус)



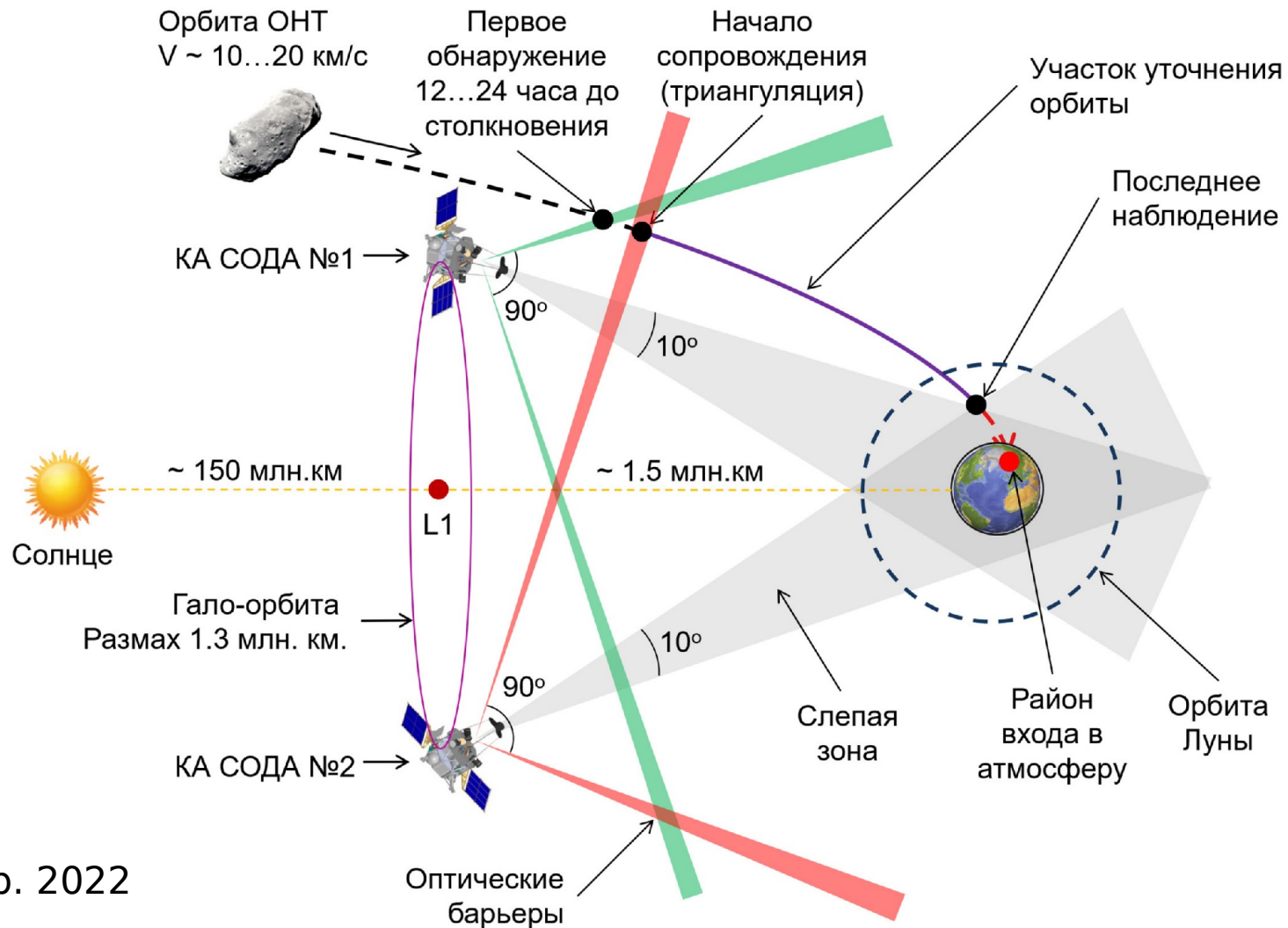
# Распределение по скорости сближения (проекция на $V_3$ )



# Статичное распределение

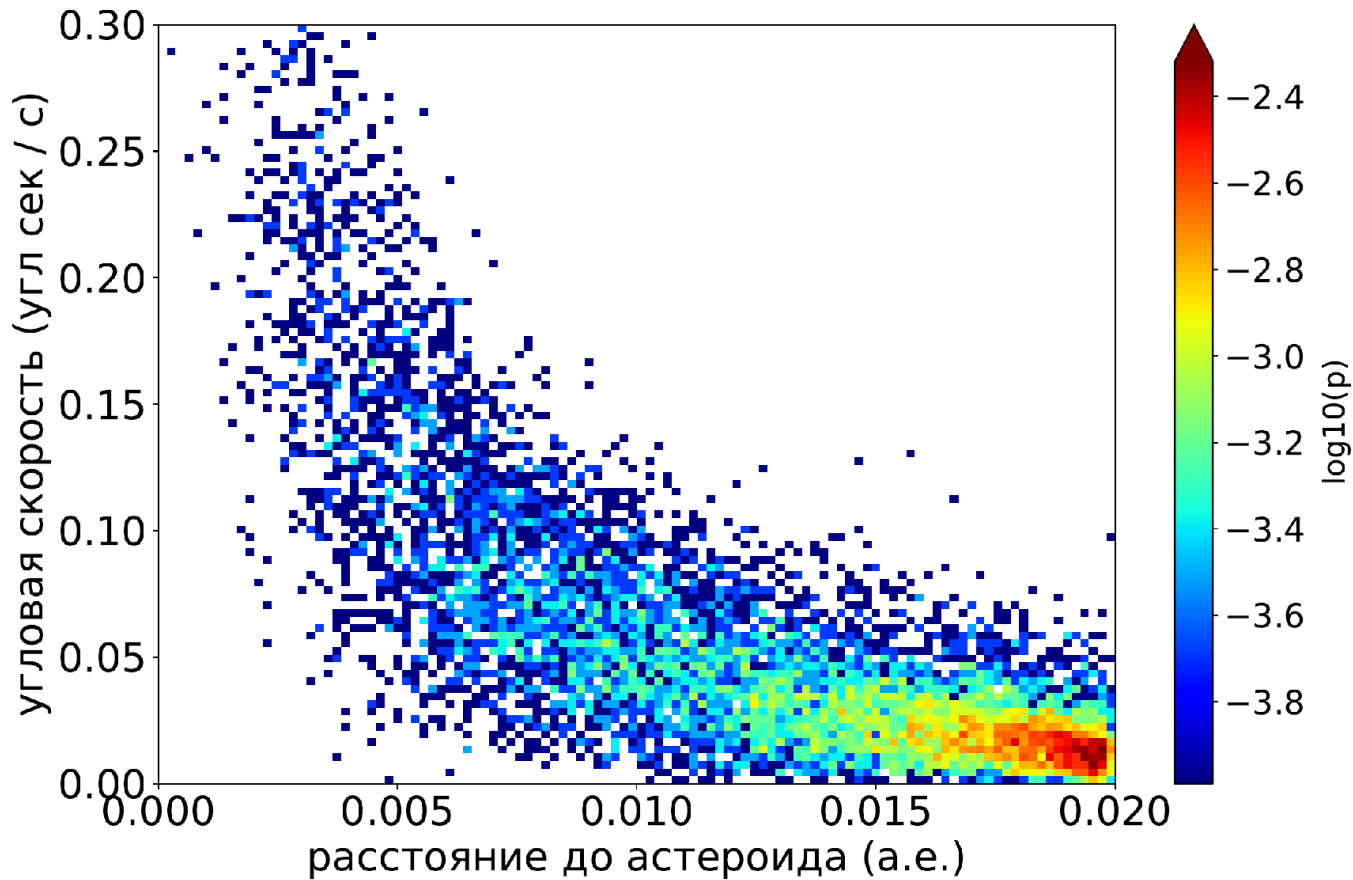


# Проект Системы Обнаружения Дневных Астероидов (СОДА)



Шугаров и др. 2022

# Распределение для наблюдателя в L1



1 а.е.

L1

Аст

Зем

0.01 а.е.

## Заключение

- Средний темп входа АСЗ размером более 10 м в ОКП составляет ~1 тыс в год.
- В среднем, в ОКП одновременно находится 4 таких астероида.
- Распределение по направлениям входа имеет повышенную плотность в направлениях на Солнце и против Солнца, но пониженную в направлении апекса Земли.
- Примерно половина астероидов входит со стороны дневной полусферы.
- Характерная скорость сближения ~8 км/с (интервал 0-30 км/с)
- Важно отметить, что количественные значения чувствительны к используемой модели АСЗ.
- Полученные результаты могут быть полезны при разработке систем поиска и сопровождения потенциально опасных тел.



Спасибо за внимание!

