



# Малые тела Солнечной системы: что это и почему они важны

Астероиды, кометы и карликовые планеты хранят память о рождении Солнечной системы.



# Где прячется древнее вещество Солнечной системы

Малые тела распределены по разным областям Солнечной системы и часто почти не изменились за 4,6 млрд лет. Их изучение помогает понять историю планет, происхождение воды и возможные угрозы для Земли.



# Основные группы малых тел Солнечной системы

## Астероиды

Это в основном каменные и металлические объекты, которые обращаются вокруг Солнца, чаще всего в главном поясе и среди околоземных орбит. Их размеры сильно различаются — от небольших фрагментов до тел в сотни километров.

## Кометы

Кометы состоят из льда, пыли и замёрзших газов. При сближении с Солнцем они нагреваются, начинают активно испаряться и образуют заметную кому и хвост, благодаря чему становятся яркими на небе.

## Метеороиды

Метеороиды — это более мелкие частицы и обломки, которые могут быть почти пылевыми или достигать метрового размера. В космосе они незаметны, но при входе в атмосферу Земли вызывают метеоры.

## Карликовые планеты

Карликовые планеты достаточно крупные, чтобы иметь почти шарообразную форму, но они не очистили окрестности своих орбит от других тел. К этой группе относятся, например, Церера и Плутон.

## Разные роли

Все эти объекты важны по-разному: одни лучше сохраняют вещество ранней эпохи, другие помогают понять динамику Солнечной системы, а третьи напрямую связаны с рисками столкновений с Землёй.

# Сравнение основных типов малых тел

Таблица показывает, чем различаются главные группы малых тел по составу, положению и размерам.

Ключевое различие между группами связано с составом и местом формирования: ледяные тела преобладают на окраинах системы, а каменные — ближе к Солнцу.

| Тип тела           | Состав         | Где находятся            | Размеры          |
|--------------------|----------------|--------------------------|------------------|
| Астероиды          | камень, металл | пояс, околоземные орбиты | метры — сотни км |
| Кометы             | лёд, пыль      | Койпер, Оорт             | до десятков км   |
| Метеороиды         | пыль, обломки  | разные орбиты            | микро — метры    |
| Карликовые планеты | лёд, камень    | Койпер, пояс астероидов  | более 400 км     |

# Пояс астероидов между Марсом и Юпитером



## Главная область скопления

Пояс астероидов расположен между орбитами Марса и Юпитера, примерно на расстоянии 2,8 а. е. от Солнца. В нём сосредоточены миллионы тел самых разных размеров и формы.

## Крупнейшие объекты

Среди наиболее известных тел пояса выделяются Церера, Веста, Паллада и Гигея. Эти объекты особенно интересны, потому что сочетают большие размеры и признаки древней истории вещества.

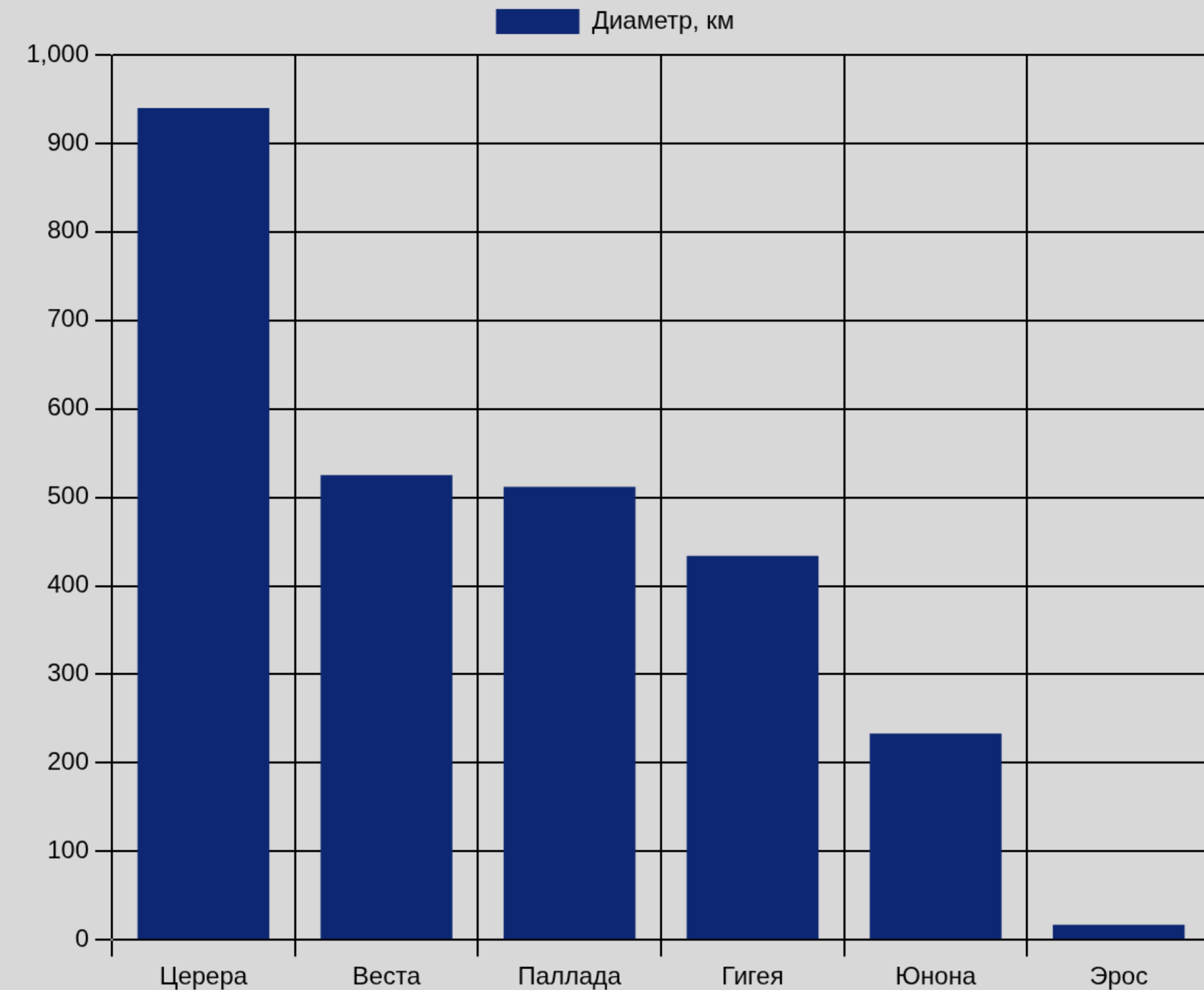
## Влияние Юпитера

Гравитация Юпитера создаёт резонансы, которые нарушают устойчивость некоторых орбит. Из-за этого в поясе возникают щели Кирквуда — зоны, где астероиды встречаются заметно реже, чем в соседних участках.

# Крупнейшие астероиды Солнечной системы

Даже крупнейшие астероиды остаются намного меньше планет, но именно они лучше всего сохранились как свидетели раннего этапа формирования системы.

После нескольких крупнейших тел размеры быстро уменьшаются, поэтому астероиды планетного масштаба крайне редки.



Справочные данные по диаметрам астероидов: Церера, Веста, Паллада, Гигея, Юнона, Эрос

# Кометы как ледяные тела Солнечной системы



## 1 Состав ядра

Ядро кометы состоит не только из водяного льда, но и из углекислого газа, аммиака, метана и пыли. Такой состав делает кометы особенно ценными для изучения первичного вещества.

## 2 Нагрев у Солнца

Когда комета приближается к Солнцу, её поверхность нагревается, а лёд начинает сублимировать. Газ выходит наружу, увлекая за собой пыль и создавая вокруг ядра заметную разреженную оболочку.

## 3 Кома и хвосты

Вокруг ядра формируется кома, а затем появляются пылевой и ионный хвосты. Они всегда направлены от Солнца, потому что на вещество действует солнечное излучение и поток заряженных частиц.

## 4 Временный характер активности

Чем дальше комета удаляется от Солнца, тем слабее становится её активность и яркость. Поэтому видимой она бывает только на сравнительно коротком участке орбиты, а затем снова уходит в холодные области.

# Как комета становится видимой

Последовательность основана на физике нагрева, сублимации и взаимодействия с солнечным излучением и ветром.

# Источники комет: пояс Койпера и облако Оорта



## Пояс Койпера

Это область ледяных тел за орбитой Нептуна, откуда приходят многие короткопериодические кометы. Здесь сохранилось вещество внешней части Солнечной системы, мало изменённое с древних времён.



## Облако Оорта

Долгопериодические кометы связывают с гипотетической сферической оболочкой на огромных расстояниях от Солнца. Она считается одним из самых удалённых хранилищ первичного вещества Солнечной системы.

# Метеороиды, метеоры и метеориты

## Метеороид

01

Так называют небольшое тело, движущееся в космическом пространстве. Его размеры могут быть от пылевой частицы до каменного фрагмента, но в вакууме оно ещё не даёт светового эффекта.

## Метеор

02

Когда метеороид входит в атмосферу Земли, он разогревается и светится. Это кратковременное явление называют метеором, а в разговорной речи — падающей звездой, хотя к звёздам оно не относится.

## Метеорит

03

Если часть тела не разрушилась полностью и достигла поверхности, её называют метеоритом. Такие находки особенно ценны, потому что позволяют изучать состав космического вещества напрямую.

## Последствия падений

04

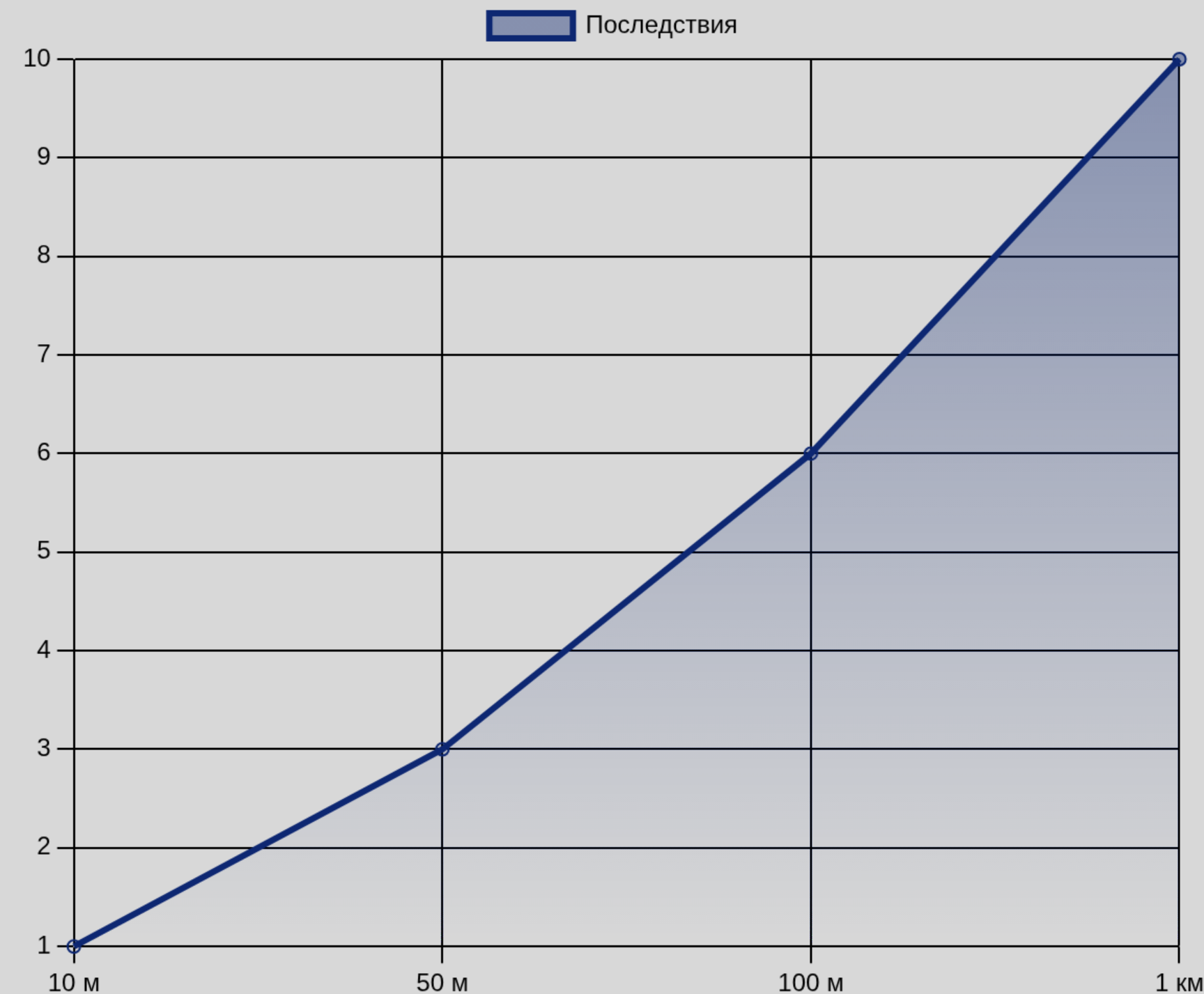
Ежедневно на Землю оседают тонны пылевого материала, но крупные падения редки. Однако именно они способны образовывать кратеры и заметно менять ландшафт, а иногда и местную экосистему.



# Почему размеры тела определяют последствия падения

Даже при одинаковом составе более крупное тело несёт значительно больше энергии столкновения, поэтому опасность растёт скачкообразно.

Чем больше диаметр, тем выше масштаб последствий; при высокой скорости даже сравнительно небольшой объект может стать крайне опасным.



Иллюстративная оценочная шкала по описанию слайда; не является измеренными данными.

# Транснептуновые объекты и пояс Койпера



## 1 Внешняя граница системы

Транснептуновые объекты обращаются за орбитой Нептуна и образуют холодный, малопригодный для наблюдений регион, где вещество сохранилось в первозданном виде лучше, чем во внутренней части Солнечной системы.

## 2 Пояс Койпера

Здесь сосредоточены ледяные тела и карликовые планеты, включая Плутон, Хаумеа и Макемаке. Их орбиты помогают проверять модели формирования внешней области Солнечной системы и её дальнейшей перестройки.

## 3 Ключ к ранней истории

Распределение орбит и наклонов этих объектов указывает на миграцию гигантских планет в прошлом. Поэтому пояс Койпера служит естественным архивом, по которому восстанавливают древнюю динамику Солнечной системы.

# Карликовые планеты: самые известные объекты

| Объект   | Диаметр | Область         |
|----------|---------|-----------------|
| Церера   | 940 км  | Пояс астероидов |
| Плутон   | 2377 км | Пояс Койпера    |
| Эрида    | 2326 км | Рассеянный диск |
| Хаумеа   | 1632 км | Пояс Койпера    |
| Макемаке | 1430 км | Пояс Койпера    |

Эти объекты достаточно крупные для почти сферической формы, но не расчистили свои орбиты от других тел.

Карликовые планеты распределены в разных внешних областях Солнечной системы, что делает их важными объектами для сравнения состава и эволюции ледяных тел.

# Падения астероидов и история Земли

## ● 66 млн лет назад

Столкновение крупного тела сформировало кратер Чиксулуб на территории современного Мексиканского полуострова Юкатан и стало одним из самых известных ударных событий в истории Земли.

## ● Следы в породах

В геологических слоях обнаруживаются иридиевые аномалии, ударные минералы и деформированные структуры. Эти признаки позволяют отличить следы падения астероида от обычных земных процессов.

## ● Влияние на биосферу

Связь Чиксулуба с массовым вымиранием показывает, что столкновения малых тел способны резко изменить климат, экосистемы и направление эволюции живых организмов.

# Астероиды как источник воды и органики



## Минеральная память о воде

В некоторых углеродистых хондритах находят гидратированные минералы, которые образуются при взаимодействии вещества с водой. Такие находки показывают, что древние астероиды могли содержать и переносить воду в связанном виде.



## Органические молекулы в метеоритах

Анализ метеоритов выявляет аминокислоты и другие углеродистые соединения. Это не означает наличие жизни, но доказывает, что сложная органическая химия шла и в малых телах Солнечной системы.



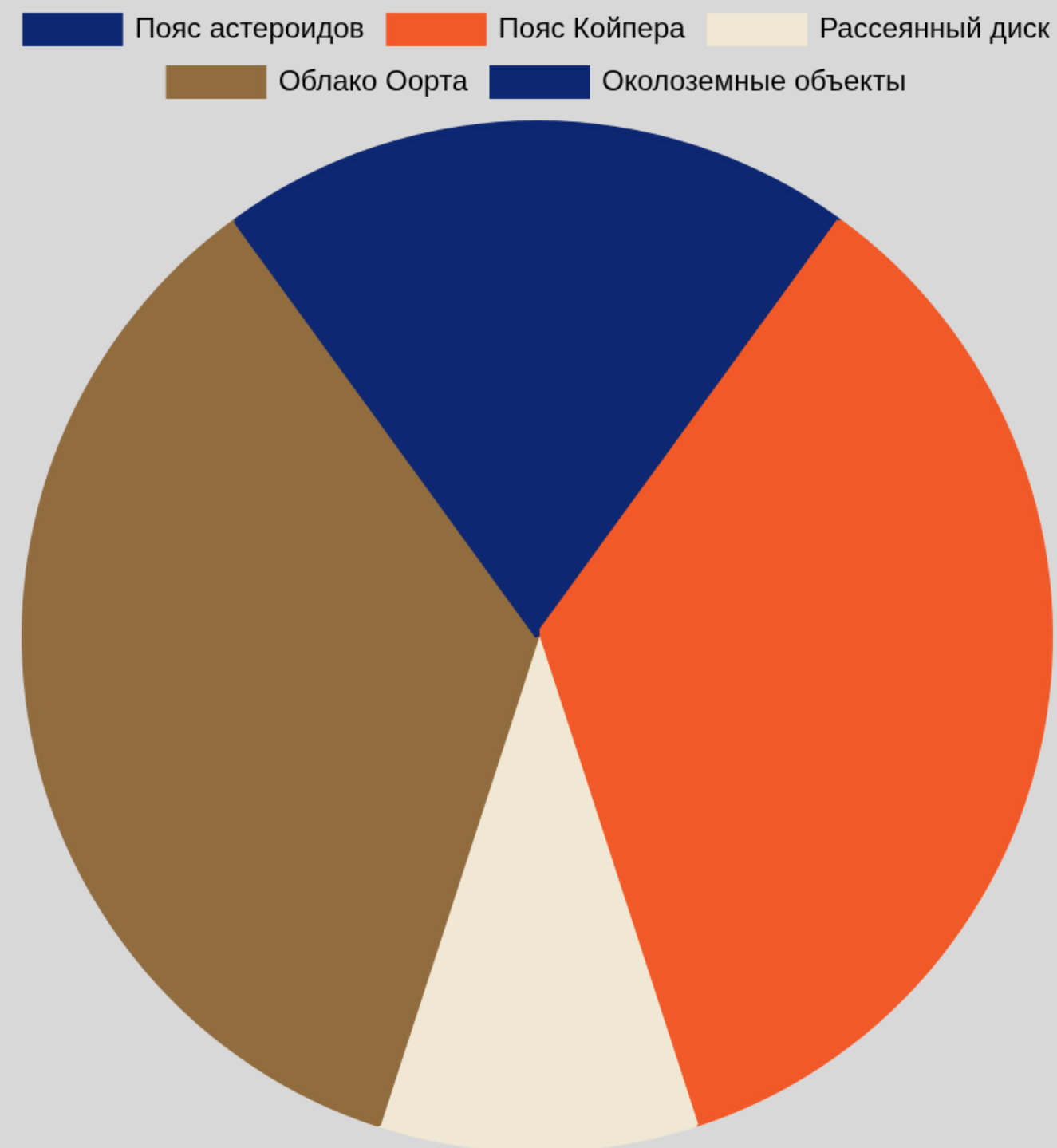
## Доставка на молодую Землю

Когда Земля только формировалась, удары богатых водой и органикой тел могли пополнять её поверхность нужными веществами. Такой сценарий помогает объяснить происхождение части воды и предбиологических соединений.

# Основные резервуары малых тел Солнечной системы

Распределение показывает, что основные запасы льда скрыты во внешних областях, далеко за орбитой Нептуна.

Наибольшие резервуары расположены очень далеко, а ближе к Земле объектов меньше, но именно они требуют постоянного контроля.



Схематическое распределение по основным областям Солнечной системы; доли условные и приведены для визуализации.

# Методы наблюдения и исследования малых тел



## Оптические наблюдения

Телескопы позволяют находить новые объекты, измерять их яркость и отслеживать движение на фоне звёзд. По этим данным уточняют орбиты и оценивают размеры крупных тел.



## Инфракрасные и радиолокационные методы

Инфракрасные обзоры помогают определить, сколько тепла излучает объект, а радиолокация даёт сведения о форме, рельефе и вращении. Вместе эти методы уточняют физические свойства астероидов.



## Анализ образцов

Миссии Hayabusa2 и OSIRIS-REx показали, что вещество астероида можно доставить на Землю и изучить в лаборатории. Такой подход раскрывает состав, пористость и историю изменения поверхности.



## Изменение орбиты

Эксперимент DART подтвердил, что траекторию малого тела можно изменить искусственным столкновением. Это важный шаг к проверке технологий планетарной защиты от опасных объектов.

# Как оценивают опасность околоземных объектов

Последовательность наблюдений и расчётов, применяемая при оценке риска сближения с Землёй

# Современные исследования и нерешённые вопросы

## Новые открытия

- 01** Современные обзоры и автоматические телескопические программы ежегодно пополняют каталоги тысячами объектов. Особенно быстро растёт число открытий в околоземном пространстве и в холодных внешних областях Солнечной системы.

## Внутреннее строение

- 02** До сих пор неясно, насколько астероиды монолитны, рыхлы или состоят из нескольких фрагментов. От этого зависит понимание их прочности, поведения при столкновении и возможных способов отклонения.

## Малые размеры — большая неопределённость

- 03** Точные оценки числа тел около 100 метров и меньше остаются сложными, потому что такие объекты тусклы и обнаруживаются не всегда. Между тем именно они могут быть опасны на региональном уровне.

## Дальние кометы и семейства астероидов

- 04** Учёные продолжают выяснять происхождение отдельных семейств астероидов и причины активности комет на больших расстояниях от Солнца. Эти вопросы помогают восстановить историю разрушений и перестроек в Солнечной системе.





# Малые тела — ключ к истории и безопасности Солнечной системы

Изучая малые тела, мы одновременно читаем древнюю летопись Солнечной системы и учимся лучше защищать Землю от космических рисков.

