

УДК 669017; 523.6

**В. И. Гроховский\***

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург

\*grokh47@mail.ru

## МАТЕРИАЛОВЕДЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ АСТЕРОИДНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Интересы материаловедов в обеспечении астероидной безопасности связаны с исследованием состава, свойств и физики разрушения метеоритов. В данной работе дан обзор текущей информации об этом.

*Ключевые слова:* метеорит, астероид, хондрит, разрушение, прочность, плотность, структура, металл.

**V. I. Grokhovsky**

## MATERIAL SCIENCE QUESTIONS OF ASTEROID SAFETY

Scientific problems of planetary defense for material scientists are associated with the study of meteoritical composition, properties and physics of fracture. This paper provides an overview of current information about this.

*Key words:* meteorite, asteroid, chondrite, fracture, strength, density, structure, metal.

**О**пасность взаимодействия природных космических объектов с Землей была, есть и будет. Развитие астрономических возможностей регистрации тел, орбиты которых пересекают земную, позволяет вести наблюдение за потенциальными «гостями» из космоса. К началу 2020 года число таких тел, за которыми ведется наблюдение, приближается к 22000. Ежедневно регистрируются новые объекты размерами от 140 до 1000 м.

Опасность вторжения астероида зависит прежде всего от его размеров [1]. Объекты размером менее десятков метров могут нанести небольшой ущерб и представляют основной интерес для сбора веще-

ства метеоритов. При размерах более 500 м вряд ли есть способ противостоять последствиям удара о Землю. Существует возможность обнаружения таких объектов заранее и их ликвидация в случае угрозы. С другой стороны, известно, что при падении Челябинского метеороида (19 м), большая часть энергии рассеялась в виде звуковых и ударных волн, при этом более 95 % вещества сгорело в атмосфере во время абляции [2].

Объекты размером 50–150 м трудно обнаружить астрономически, поэтому их трудно отклонить заранее, но они достаточно велики и могут разрушить при ударе крупный город. Поэтому важно понимать их поведение в атмосфере. К числу неопределенностей, необходимых для ответа на этот вопрос, относятся состав, строение, физические свойства и механика разрушения метеороидов. В настоящее время эти сведения можно получить в основном при исследовании метеоритов. Однако наблюдается существенная разница между соотношениями типов метеоритов и таксонометрической классификацией астероидов по астрономическим данным. Этот парадокс заключается в том, что самая большая группа метеоритов — обыкновенные хондриты — не имеют окончательного спектрального соответствия ни одному классу астероидов. Эти различия обусловлены тем, что вещество метеороидов изменяет спектральные свойства под действием факторов космического выветривания.

Плотность является одним из ключевых факторов, влияющих на модели оценки риска астероидов, тем не менее, важны и другие характеристики: пористость, прочность, скорости распространения упругих волн, теплоемкость, теплопроводность, удельное электросопротивление и т. п. У большинства каменных метеоритов средняя плотность от 3 до 4 г/см<sup>3</sup> и пористость меньше 10%. Прочность метеоритов на растяжение охватывает широкий диапазон от 0,8 МПа для углистого хондрита Tagish Lake до 402 МПа для железного метеорита Gibeon [3].

Множество данных об исследовании состава и строения метеоритов указывает на широкий спектр материалов, попадающих в атмосферу Земли. Особенностью любого вещества метеоритов является присутствие сплавов Fe-Ni-Co, при этом в них обнаружены продукты всех известных для металлических систем фазовых и структурных превращений. Разрушение наиболее опасных железных метеороидов определяется размерами кристаллов и прочностью межфазных границ. Максимальные значения ударной вязкости демонстрируют высоко-

никелевые атакситы с субмикроскопической смесью фаз  $\alpha$ -Fe (Ni, Co) и  $\gamma$ -Fe (Ni, Co) [4].

В большинстве изученных каменных метеоритов из разных коллекций мира наблюдается трещиноватость. Кроме того, траекториями трещин могут служить ослабленные ударные прожилки, пустоты в хондритах, брекчии. В теле метеорита Челябинск ослабленными местами служили усадочные пустоты после кристаллизации ударного расплава.

В настоящем докладе представлен обзор текущей информации о структуре и физических свойствах метеоритов и астероидов.

### **Литература**

1. A meteorite perspective on asteroid hazard mitigation / Derek W.G. Sears [et al.] // *Planetary and Space Science*. 2016. V. 124. P. 105–117.
2. Chelyabinsk airburst, damage assessment, meteorite recovery and characterization / O. P. Popova [et al.]. *Science*. 2013. 342. P. 1069–1073.
3. Ostrowski D., Bryson K. The physical properties of meteorites // *Planetary and Space Science*. 2019. V. 165. P. 148–178.
4. Grokhovsky V.I., Gladkovsky S. The static and dynamic fracture toughness of Chinga ataxite // *Meteoritics & Planetary Science*. 2012. V. 47. S1. P. 5285.