

## ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ТИПЫ МИНЕРАЛЬНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ В ЖЕЛЕЗНЫХ МЕТЕОРИТАХ

С.С. Гонцова, Е.М. Максимова, И.А. Наухацкий, Е.Т. Милокова

Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь, [sgoncova@gmail.com](mailto:sgoncova@gmail.com)

Космонавтика достигла больших успехов, однако метеориты остаются самым доступным источником космического вещества на Земле. Их исследование позволяет получить информацию о процессах образования и дальнейшей эволюции минерального вещества в Солнечной системе.

В зависимости от соотношения железо-никелевого сплава и других минералов, все метеориты подразделяются на каменные, железокремнистые и железные. Каждая группа формировалась при разных условиях, что значительно повлияло на их минеральный состав, [Додд, 1986]. По происхождению выделяют три типа минеральных образований: конденсационные – образованные в результате конденсации в газопылевом облаке; метаморфогенные – образованные при термальном, водном и ударном метаморфизме родительских тел и экзогенные – образованные в результате земного выветривания метеоритов, [Семененко, 2012].

В работе методами рентгеновской дифрактометрии и сканирующей электронной микроскопии было исследовано три осколка железных метеоритов: Кампо-дель-Сьело (IAB), впервые обнаружен в 1576 г. на севере Аргентины, Сихотэ-Алинский (IIAB), упал

12 февраля 1947 г. на Дальнем Востоке в окрестностях хребта Сихотэ-Алинь и Дронино, найден в 2000 г. в Касимовском районе Рязанской области, рис. 1.

Исследование элементного состава метеоритов Кампо-дель-Сьело и Сихотэ-Алинского метеорита методом энергодисперсионного микроанализа (растровый электронный микроскоп РЭМ-106 с составной частью ЭДС-1) показало, что поверхность исследуемых образцов более чем на 90 % состоит из железа с небольшим содержанием никеля < 7 %, что соответствует составу химических групп этих метеоритов, [Maksimova, 2014].

Качественный и количественный анализ элементного состава осколка метеорита Дронино был определен с помощью рентгенофлуоресцентного спектрометра ElvaX. Установлено, что исследуемый образец на 80 % состоит из железа с содержанием никеля ~18 %.

Структурные исследования осколков проводились на дифрактометре общего назначения «ДРОН-3» методом порошков с использованием медного излучения ( $\text{Cu K}_\alpha$ ). Съемка проводилась в интервале углов от  $10^\circ$  до  $100^\circ$ . Установлено, что минеральная матрица всех исследуемых метеоритов состоит из минерала

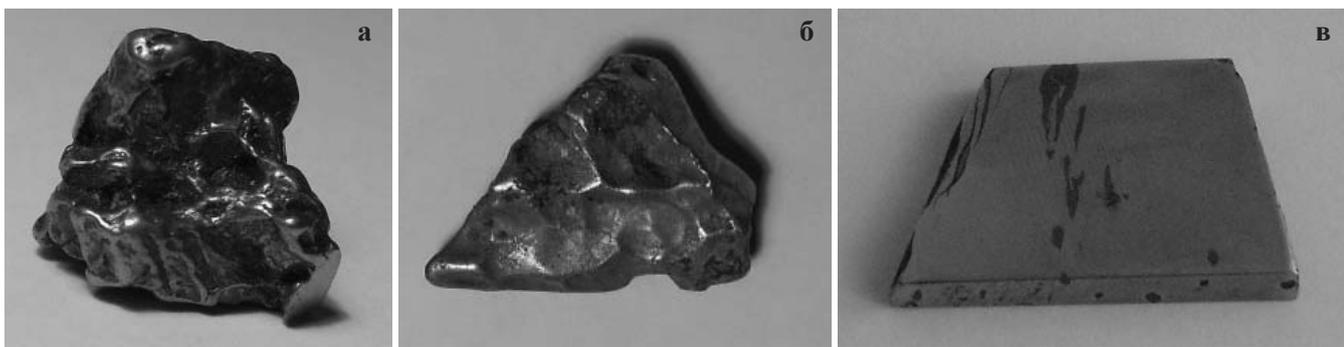


Рис. 1. Исследуемые образцы: а – осколок метеорита Кампо-дель-Сьело (2×1,5 см); б – осколок Сихотэ-Алинского метеорита (2×2,5 см); в – осколок метеорита Дронино (1,8×3 см)

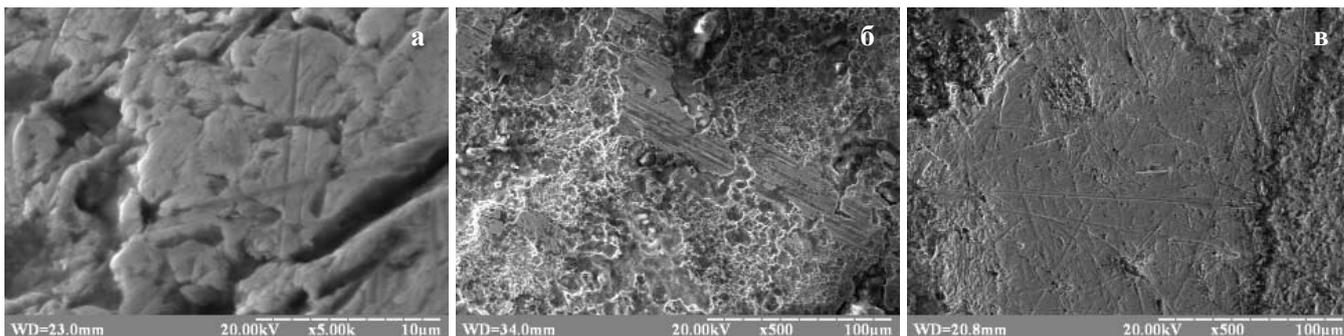


Рис. 2. Поверхность минерала камасита: а – метеорит Кампо-дель-Сьело; б – Сихотэ-Алинский метеорит; в – метеорит Дронино

Таблица 1. Расчет параметров кристаллической решетки минерала камасита

	2 $\theta$	N <sub>ряд</sub>	hkl	a, Å	$\Delta a$ , Å
Метеорит Кампо-дель- Сьело	44,6	2	110	2,870	0,002
	65	4	200		
	82,35	6	211		
	98,4	8	220		
Сихотэ- Алинский метеорит	45,1	2	110	2,848	0,006
	65,7	4	200		
	82,6	6	211		
	99,24	8	220		
Метеорит Дронино	44,8	2	110	2,868	0,010
	64,4	4	200		
	82,45	6	211		
	99,17	8	220		

камасита  $\alpha$ -(Fe,Ni) – объемно-центрированной фазы железа, имеющего конденсационное происхождение. Из минералов-конденсатов во всех образцах обнаружены также сульфиды, хромиты и фосфиды (кроме Дронино).

Параметры кубической структуры камасита исследованных образцов, рассчитанные методом наименьших квадратов, представлены в таблице 1.

На СЭМ – изображениях образцов во вторичных электронах видна поверхность минерала камасита  $\alpha$ -(Fe,Ni) с системами параллельных полос – линий Неймана, образовавшихся в результате ударной нагрузки, рис. 2.

Ударная нагрузка приводит также к многочисленным деформациям минерала шрейберзита Fe<sub>2</sub>NiP. В осколках метеорита Кампо-дель-Сьело и Сихотэ-Алинском фосфид железа наблюдается также в виде хорошо сформированных кристаллов тетрагональной системы – палочкообразных кристаллов рабдита Fe<sub>1,5</sub>Ni<sub>1,5</sub>P, рис. 3.

К ударнометаморфическим образованиям относятся и другие кристаллические структуры ударного плавления: высоконикелистое железо (тэнит  $\gamma$ -(Fe,Ni)) и силикаты, [Семененко, 2012]. Тэнит в разных количествах был обнаружен во всех образцах метеоритов, а наличие силикатов характерно только для минеральной структуры осколка Кампо-дель-Сьело, [Гонцова, 2015].

В образце метеорита Дронино обнаружены кристаллы гидроксидов железа, образовавшиеся в результате земного выветривания. Это – гётит  $\alpha$ -FeO(OH), лепидокрокит  $\gamma$ -FeO(OH) и чукановит Fe<sub>2</sub>[CO<sub>3</sub>](OH)<sub>2</sub>, [Chukanov, 2009].

На поверхности всех осколков был обнаружен ряд хорошо сформированных монокристаллов, наноглобулярных образований и балочных микроструктур, которые являются специфическими формами неоднородности космического вещества и природу происхождения которых еще предстоит определить.

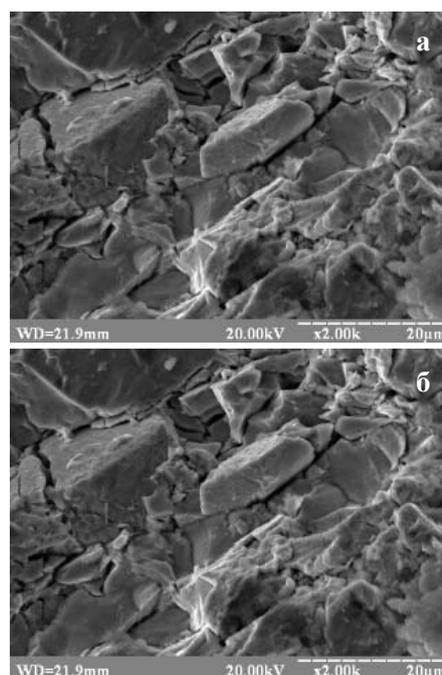


Рис. 3. Морфологический подвид минерала шрейберзита – минерал рабдит: а – метеорит Кампо-дель-Сьело; б – Сихотэ-Алинский метеорит

Наличие в метеоритах разных генетических типов минеральных образований указывает на фундаментальность процесса минералообразования в природе, начиная от процессов аккреции звездного вещества и заканчивая процессами выветривания минералов метеоритов в земных условиях.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гонцова С.С., Максимова Е.М., Наухацкий И.А. Изучение тонкой кристаллической структуры метеорита Кампо-дель-Сьело // Физическое образование в вузах. 2015. т. 21. № 1С. С. 18–19.
2. Додд Р.Т. Метеориты. Петралогия и геохимия: Пер. с англ. М.: Мир, 1986. 384 с.
3. Семененко В.П., Ширинбекова С.Н., Гирич С.Н., Горovenko Т.Н., Кичань Н.В. Генетические типы нанометровых зёрен минералов в метеоритах // Наносистемы, наноматериалы, нанотехнологии. 2012. т.10. № 1. С. 1–10
4. Chukanov N.V., Pekov I.V., Levitskaya L.A., Zadov A.E. Droninoite, Ni<sub>3</sub>Fe<sup>3+</sup>Cl(OH)<sub>8</sub>2H<sub>2</sub>O, a new hydrotaicite-group mineral species from the weathered Dronino meteorite // Geology of Ore Deposits. 2009. V. 51. P. 767–773.
5. Maksimova E.M. Nauhatsky I.A., Hontsova S.S., Milyukova E.T. Petrography of iron meteorites on the case study of the Sikhote-Alin meteorite fragments // Scientific Notes of Taurida V.I. Vernadsky University – Series – Physics and Mathematics Sciences. 2014. V. 22 (66). No. 2.