

# НОВЫЕ ДАННЫЕ ПРОСВЕЧИВАЮЩЕЙ ЭЛЕКТРОННОЙ МИКРОСКОПИИ В ИЗУЧЕНИИ ВЕЩЕСТВА КОСМИЧЕСКОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

*Н. Р. Хисина*

*ГЕОХИ РАН, Москва, khisina@gmail.com*

Представлены результаты использования метода просвечивающей электронной микроскопии в изучении космического вещества. Обнаружены новые явления, которые не имеют прямой аналогии с известными макроскопическими данными по строению вещества и интерпретация которых нуждается в новых подходах.

**Космические микросферулы.** (1). Среди силикатных микросферул из коллекций, собранных в районе Тунгусского события и на Новой Земле, обнаружены микросферулы с неизвестной ранее ячеистой текстурой. Ячеистая текстура образована пространственно упорядоченными эквипараметрическими нанокристаллами оливина в стекле полевошпатового или пироксенового состава. В стекле обнаружено большое количество газовых пузырьков, обильно декорирующих грани кристаллов оливина. Наличие газовых пузырьков и их концентрация на границе оливин-стекло свидетельствует о том, что кристаллизация оливина сопровождалась газовой выделением в материнском расплаве. Это явление может иметь космическую природу, поскольку именно в условиях невесомости выделение газа из расплава путем дегазации затруднено и осуществляется путем образования пены.

Установленные текстурные особенности (ячеистая наноструктура) согласуются с представлением о механизме гомогенной изотермической кристаллизации из переохлажденного расплава. Изотермические условия процесса гомогенной кристаллизации могут поддерживаться за счет выделения скрытой теплоты кристаллизации при отсутствии теплообмена с внешней средой, когда остывание происходит путем излучения. Такие условия реализуются при затвердевании капли расплава в условиях невесомости в космосе, но маловероятны при закалке и затвердевании космической микрочастицы, испытывающей плавление при входе в земную атмосферу. Общепринятым является представление, что космические микросферулы возникают в результате плавления при высокоскоростном входе микрометеороидов в атмосферу Земли. Полученные данные для силикатных микросферул с ячеистой нанотекстурой не согласуются с этой моделью. На наш взгляд, важным обстоятельством является обнаружение совершенно одинаковых микросферул с ячеистой нанотекстурой в двух разных и регионально удаленных коллекциях. Наряду с этими микросферулами, которые трудно считать переплавленными в атмосфере, среди изученных микросферул присутствуют и такие, которые несут следы нагрева, а также частичного или полного плавления при пролете через атмосферу Земли. Эти микросферулы сохраняют остатки ячеистой нанотекстуры, но отсутствие пузырьков газа, оплавленный габитус кристаллов и деформирование ячеистой наноструктуры свидетельствуют о повторном нагреве микросферулы и частичном плавлении полевошпатового стекла. Характерно, что в таких микросферулах наблюдается появление в стекле крупных кристаллов магнетита. (2). При изучении металлических ядер силикатных микросферул из района Тунгусского события обнаружены микроглобулярные образования состава Fe-Ni-S-P, которые имеют химическую и фазовую нанонеоднородность с расслоением вещества на троилит-камаситовое ядро и шрейберзит-тенитовую оболочку. Подобные образования до сих пор не были описаны в литературе и могут свидетельствовать о ликвационной природе микроглобул с последующим разделением в процессе охлаждения на смеси эвтектического состава. (3). В оксидной оболочке железной микросферулы из района Тунгусского события выявлена необычная

эвтектоидная вюстит-магнетитовая наноструктура. Строго когерентные соотношения кристаллических решеток вюстита и магнетита, равномерно распределенных внутри оксидной оболочки, позволяют предположить альтернативные модели их образования: (а) затвердевание расплава  $\text{FeO} - \text{Fe}_3\text{O}_4$  эвтектического состава; (б) субсолидусный распад твердого раствора (нестехиометричного вюстита  $\text{Fe}_{1-x}\text{O}$ ) на стехиометричный вюстит и магнетит.

**Дендриты и симплектиты.** (1). Изучены дендритные образования оливина в силикатном стекле микросферул из тунгусской коллекции. Размер кристаллов оливина в дендритах меньше размера кристаллов оливина в микросферулах с ячеистой текстурой. Эти данные указывают на разные режимы остывания микросферул с дендритной и ячеистой текстурой. (2). Обнаружены шрейберзит-сидеритовые дендриты в шрейберзите из железного метеорита. Подобная ассоциация не только никогда не наблюдалась, но и не может иметь термодинамического объяснения в рамках существующих представлений. Возможно, в образовании шрейберзит-сидеритовой ассоциации основную роль играли недостаточно изученные явления испарения и конденсации вещества в ударном процессе. (3). В оливине из лунного реголита впервые методом просвечивающей электронной микроскопии диагностированы хромит-диопсидовые ламелярные симплектиты. Симплектиты по своим морфологическим характеристикам аналогичны магнетит-диопсидовым симплектитам в оливинах земного происхождения и в оливинах из марсианских метеоритов. Полученные данные приводят к выводу, что симплектиты образованы путем прерывистого ячеистого выделения, которое могло происходить в результате дегидрогенизации и окисления оливина.