

## Челябинский метеорит: «проплавленный» фрагмент метеорита

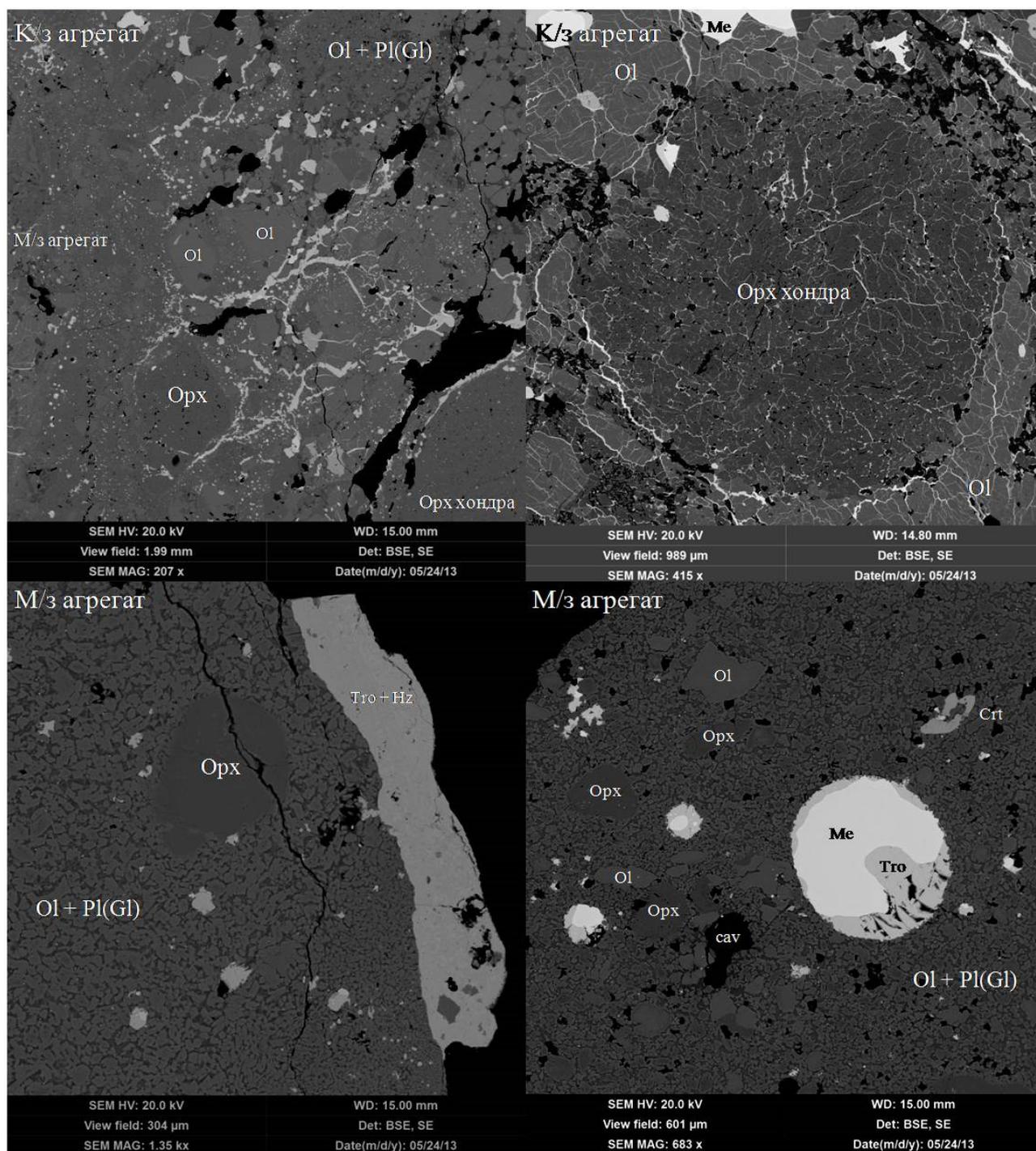
В ходе полевых работ, проведенных Сибирским геологическим музеем ИГМ СО РАН в апреле 2013 года, в районе поселка Тимирязевский был найден необычный фрагмент метеорита Челябинск. Этот фрагмент (39 грамм) достаточно сильно отличается по внешнему виду от большинства фрагментов, обнаруженных в районах обильного метеоритного дождя (поселок Депутатское – деревня Березняки, село Еманжелинка - город Еманжелинск). В первую очередь, это касается окраски и внутренней структуры. Большинство фрагментов метеорита имеют светлую окраску центральной части и темную корку оплавления [1-2]. Найденный фрагмент характеризуется темно-серым цветом центра, макроскопически видимой разницей между крупнозернистым (первичным) и мелкозернистым (перекристаллизованным) агрегатами и наличием большого количества сферических пустот (пузырей) в мелкозернистом агрегате (Рис. 1). Это дает основание выделить особый тип («интенсивно проплавленные») для фрагментов метеорита Челябинск. Насколько редок этот тип пока сложно судить. Ревизия всех образцов метеорита, имеющихся на данный момент в геологическом музее ИГМ, выявила только три фрагмента этого типа. Однако такие фрагменты иногда встречались и ранее среди образцов, собранных специалистами и местными жителями. Причем это не зависит от размера-массы (от 0.1 до 39 грамм) и места падения. Следует отметить, что в целом по минеральному составу оба типа практически одинаковы. Цветовая разница между ними обусловлена лишь тем, что в преобладающем типе микротрещины во всех первичных минералах (крупнозернистый агрегат), образовавшиеся при ударном метаморфизме, ни чем не залечены, тогда как в «проплавленом» типе они всегда заполнены металл-сульфидной ассоциацией (Рис. 2). Данное сообщение посвящено «проплавленному» фрагменту, найденному в районе поселка Тимирязевский. Этот образец был наиболее детально изучен на сканирующем микроскопе (энерго-дисперсионные спектры, фотографии в различных режимах, карты распределения элементов) из-за обилия пустот, заполненных идеально ограниченными кристаллами (Рис. 3-7).



**Рис. 1.** Внешний вид и структура «проплавленного» фрагмента метеорита Челябинск, окрестности п. Тимирязевский. А-Б – внешний вид; В – спил фрагмента; Г – препарат в эпоксидке. К/з, М/з – крупно-, мелкозернистый агрегат.

Как отмечалось выше, данный образец характеризуется цветовым контрастом между крупно- и мелкозернистым агрегатами (Рис. 1). Причем крупнозернистый агрегат, содержащий хондры, имеет округлые очертания и формирует «реликты» в мелкозернистом агрегате. Все это свидетельствует о том, что последний формировался за счет переплавления первичной ассоциации (крупнозернистый агрегат) и, вероятно, имеет доземное происхождение. Корка оплавления (менее 1 мм) на образце представлена тонкораскристаллизованным стеклом, скелетными кристаллами магнетита и оливина, Ni-обогащенными сульфидными глобулами и т.д., как и в корке оплавления из фрагментов преобладающего типа [1-2]. Следует отметить, что в мелкозернистой массе преобладающей фазой становится оливин. В целом, она содержит как новообразованные фазы (оливин, Na-плагиоклаз - полевошпатовое стекло, хромит, клинопироксен,

ортопироксен, металл-сульфидные глобулы, реже фосфаты), так и немногочисленные реликты крупных зерен ортопироксена, оливина, хромита, иногда ильменита (Рис. 2).



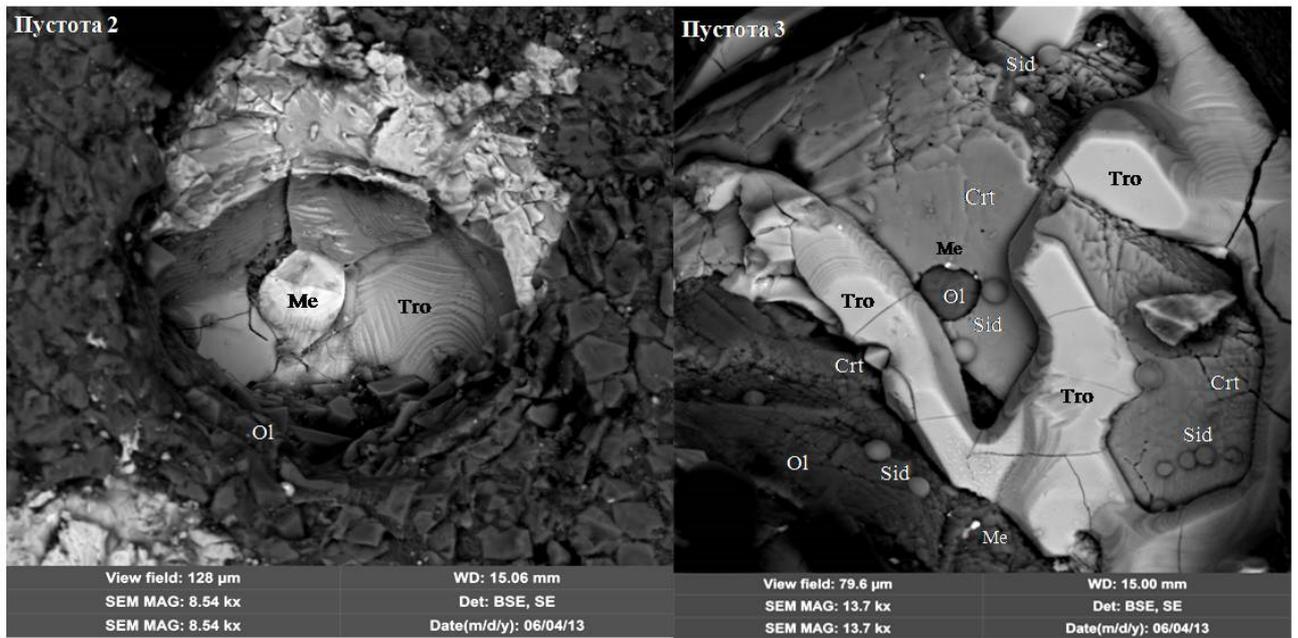
**Рис. 2. Структура и состав крупно- и мелкозернистых агрегатов в «проплавленном» фрагменте метеорита Челябинск, окрестности п. Тимирязевский (BSE фотографии). Ol – оливин; Орп – ортопироксен; Crt – хромит; Pl(Gl) – Na-плагиоклаз (полевошпатовое стекло); Me – металл (камасит + тэнит); Tro – троилит; Hz – хизлевудит; cav – пустоты.**

Таким образом, процесс преобразования силикатной составляющей метеорита можно грубо описать реакцией ортопироксен → оливин + SiO<sub>2</sub> (силикатный расплав). Примеси Ca, Na, Ti и Cr, присутствующие в первичном ортопироксене, идут в дальнейшем на

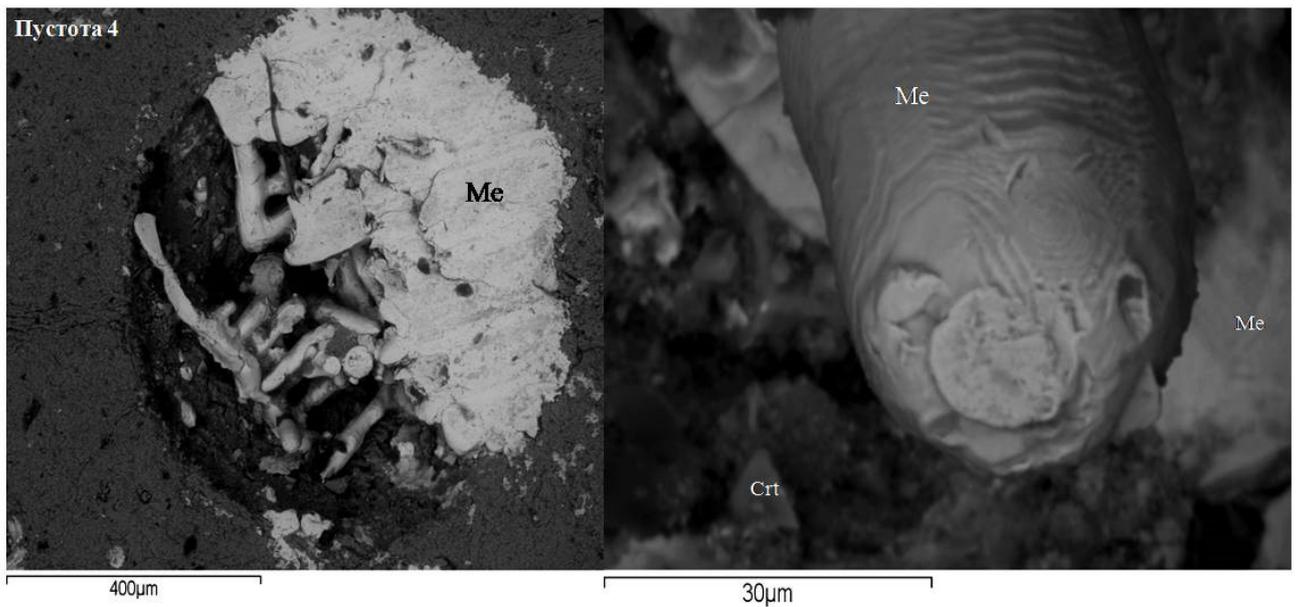
формирование новообразованных клинопироксена, хромита, плагиоклаза и стекла. Такой процесс весьма характерен для мантийных ксенолитов, содержащих ортопироксен, где образование интерстициального оливина (оливин-2) предполагается за счет ортопироксена при твердофазных реакциях или реакций с участием расплава/флюида. Особое внимание хотелось бы обратить на поведение металл-сульфидного расплава при преобразованиях в данном образце метеорита. Так в крупнозернистом агрегате первичная металл-сульфидная ассоциация располагается в интерстициях между силикатами и оксидами, иногда присутствует в виде включений в них. В мелкозернистом агрегате новообразованный металл-сульфидный расплав преимущественно заполнял газовые пустоты: полностью (округлые глобулы) или частично (губчатый агрегат в пустотах) (Рис. 2-7). В силу своей высокой подвижности он также заполнял все микротрещины в минералах и хондрах крупнозернистого агрегата (Рис. 2). При этом состав металл-сульфидного расплава, по-видимому, существенно не менялся, о чем свидетельствует одинаковый фазовый состав и химизм металл-сульфидных ассоциаций в крупно- и мелкозернистом агрегатах (камасит + тэнит + троилит ± пентландит ± медь). Металл-сульфидная ассоциация в корке оплавления этого образца характеризуется принципиально иным набором минералов (хизлеудит, тетратэнит-аваруит, Ni-содержащий троилит, реже пентландит). Наибольший интерес привлекли частично заполненные пустоты. Они преимущественно имеют идеальную сферическую форму и располагаются в мелкозернистом агрегате, реже на границе крупно- и мелкозернистого агрегатов (Рис. 3-7). Некоторые полости иногда приурочены к крупным трещинам (Рис. 1В), по-видимому, образовавшимся при столкновении с другими космическими телами. Стенки всех полостей обычно инкрустированы кристаллами оливина, на которых присутствуют октаэдрические кристаллы хромита, кубооктаэдрические кристаллы Fe-Ni-металла (тэнит?), губчатый агрегат металла и троилита, очень редко фосфаты и округлые выделения Fe-карбоната (сидерит?). Характер взаимоотношений Fe-Ni-металла и троилита с другими фазами свидетельствует о том, что они являются наиболее поздними. В некоторых случаях (Рис. 6) Fe-Ni-металл и троилит полностью выстилают стенки полостей. Специфические формы роста Fe-Ni-металла и троилита, а также идеальные кристаллы оливина и хромита, предполагают, что их кристаллизация происходила в присутствии газовой фазы, причем Fe-Ni-металл и троилит формировались в условиях резкой закалки. Каков был состав газовой компоненты пока сказать трудно, однако присутствие карбоната в некоторых полостях позволяет предполагать наличие углерода в ее составе.

3

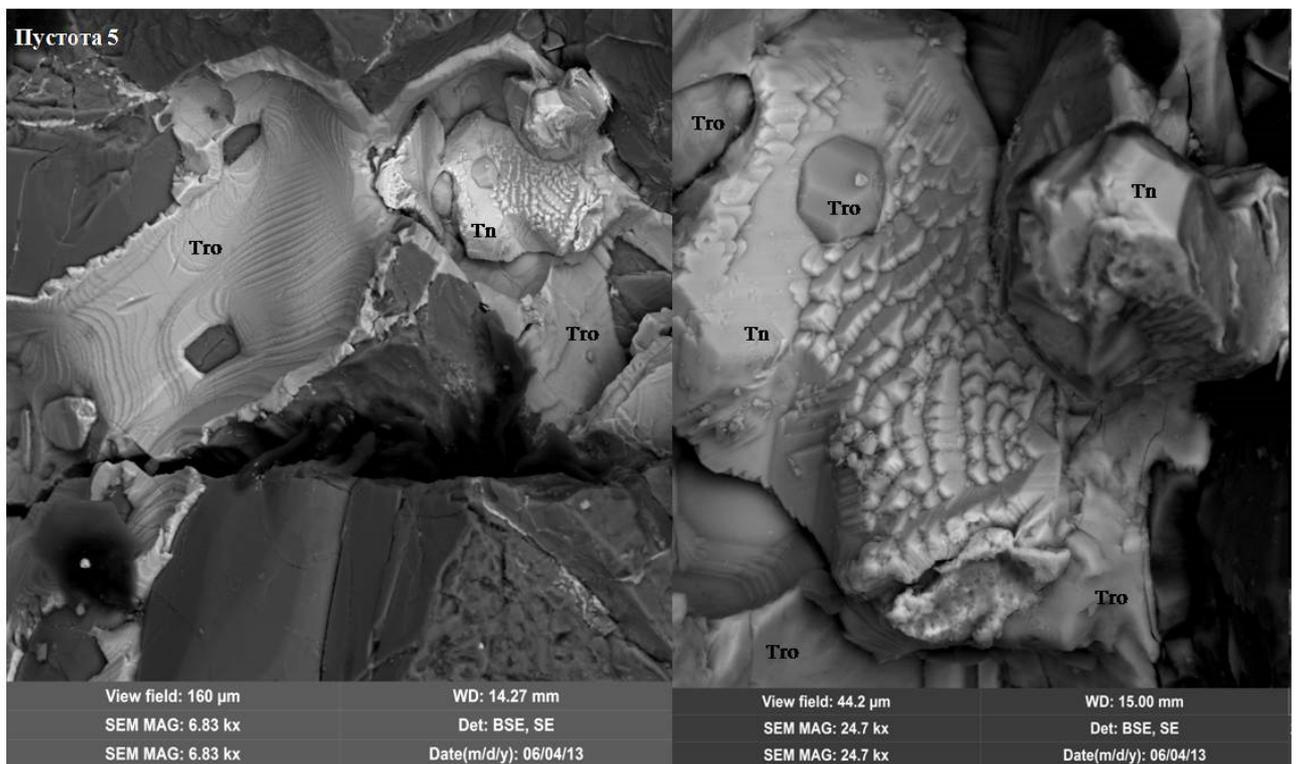
**Рис. 3. Пустота сферической формы с губчатым агрегатом металла и троилита и ограненными кристаллами хромита, металла (тэнит?) и оливина на стенках. Мелкозернистый агрегат в «проплавленном» фрагменте метеорита Челябинск, окрестности п. Тимирязевский (BSE фотографии). Ar – Ca-фосфат (хлорапатит или мерриллит), остальные символы смотри Рис. 2.**



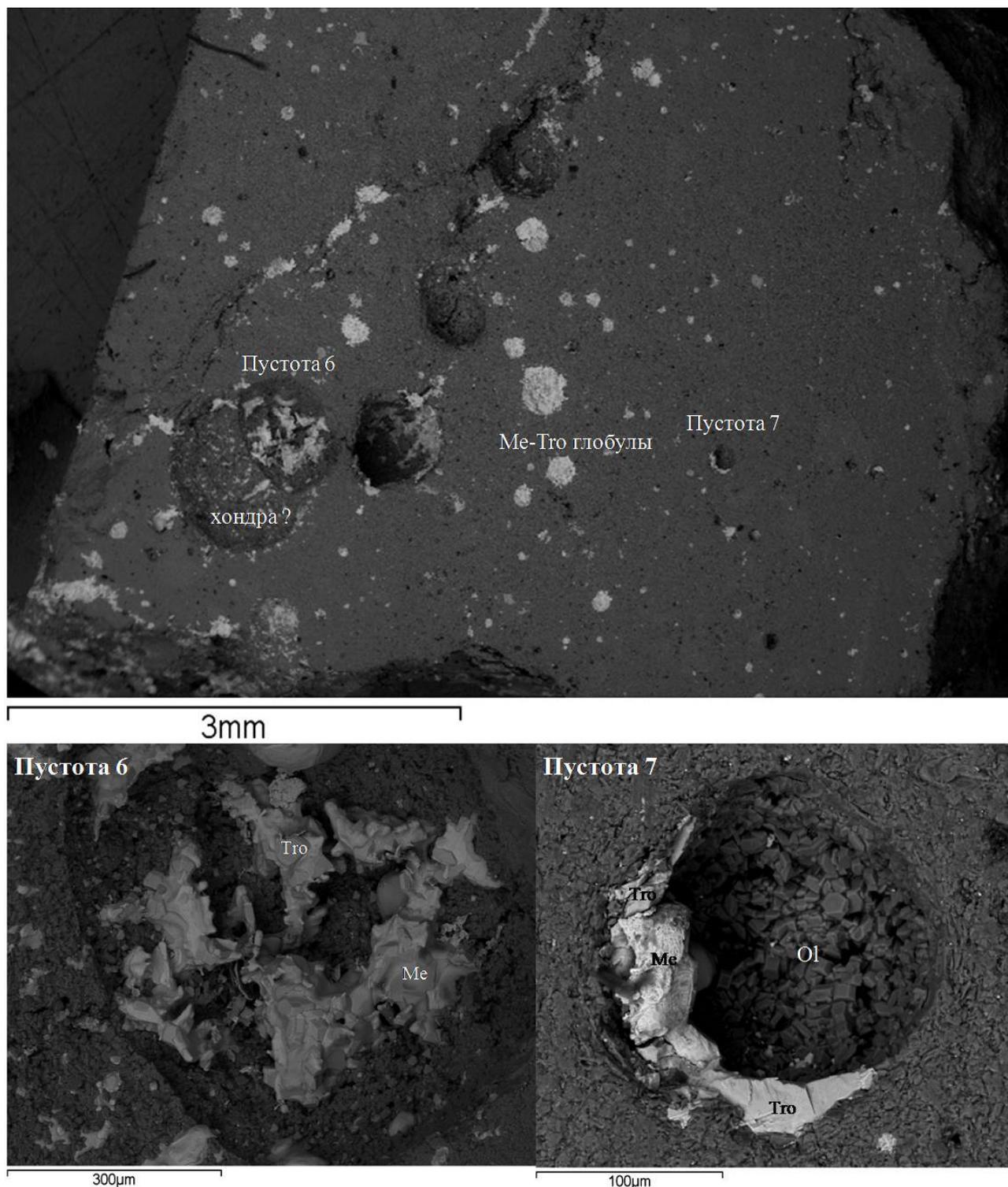
**Рис. 4.** Пустоты с металлом, троилитом и хромитом. Мелкозернистый агрегат в «проплавленном» фрагменте метеорита Челябинск, окрестности п. Тимирязевский (BSE фотографии). Sid – Fe-карбонат (сидерит?), остальные символы смотри Рис. 2.



**Рис. 5.** «Сосульки» металла в пустоте сферической формы. Мелкозернистый агрегат в «проплавленном» фрагменте метеорита Челябинск, окрестности п. Тимирязевский (BSE фотографии). Символы смотри Рис. 2.



**Рис. 6.** Специфические формы роста для троилита и тэнита (Tn) в одной из пустот, свидетельствующие о быстрой закалке и возможном образовании за счет газотранспортных реакций. Мелкозернистый агрегат в «проплавленном» фрагменте метеорита Челябинск, окрестности п. Тимирязевский (BSE фотографии). Символы смотри Рис. 2.



**Рис. 7.** Пустоты сферической формы, частично заполненные губчатым агрегатом металла и троилита и инкрустированные оливином, и сферические металл-сульфидные глобулы (полностью заполненные пустоты). Мелкозернистый агрегат в «проплавленном» фрагменте метеорита Челябинск, окрестности п. Тимирязевский (BSE фотографии). Символы смотри Рис. 2.

Таким образом, проведенные исследования по «проплавленному» образцу метеорита Челябинск позволяют сделать следующие предварительные выводы: (1) фрагменты такого типа, по-видимому, представляют собой те участки космического тела, которые

подверглись наибольшей степени ударного метаморфизма (более S4) за счет столкновения с другими космическими телами; (2) кристаллизация мелкозернистого агрегата происходила с участием газовой фазы, что приводило к образованию газовых полостей, инкрустированных идеальными кристаллами силикатов и оксидов и иногда полностью заполненных Fe-Ni-металлом и троилитом.

Следует отметить, что изучение данного фрагмента способствовало пополнению списка минералов, обнаруженных в метеорите Челябинск. Это – полиморф SiO<sub>2</sub>, выявленный на контакте ильменита и мелкозернистого агрегата, и Fe-карбонат (сидерит ?), обнаруженный в одной из пустот (Рис. 4).

### **Литература**

[1] Шарыгин В.В., Карманов Н.С., Тимина Т.Ю., Томиленко А.А., Подгорных Н.М. Метеорит Челябинск: сообщения 1-8 // <http://www.igm.nsc.ru/Menu/News.aspx>. 1.03.2013 - 18.03.2013. [2] Анфилогов В.Н., Белогуб Е.В., Блинов И.А., Еремяшев В.Е., Кабанова Л.Я., Лебедева С.М., Лонцакова Г.Ф., Хворов П.В. Петрография, минералогия и строение метеорита «Челябинск» // Литосфера. 2013. № 3./

Данное сообщение подготовлено В.В. Шарыгиным, Н.С. Кармановым, Н.М. Подгорных, А.А. Томиленко.

Материалы данного сообщения будут опубликованы в сборнике тезисов Международной научно-практической конференции "Астероиды и кометы. Челябинское событие и изучение падения метеорита в озеро Чебаркуль", Челябинская область, Чебаркуль, 21-22 июня 2013 г.

<http://www.chebarcul.ru/meteorit/conference/conference-ru/>