



В. А. ЦЕЛЬМОВИЧ  
(пос. Борок, Ярославская обл.)

### ЧАСТИЦЫ САМОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ КАК ВОЗМОЖНЫЕ ИНДИКАТОРЫ ВЕЩЕСТВА ТУНГУССКОГО МЕТЕОРИТА

Несмотря на множественные экспедиции, вещество гипотетического Тунгусского метеорита не было найдено в сколько-нибудь значительном количестве; однако были обнаружены микроскопические силикатные и магнетитовые шарики, а также повышенное содержание некоторых химических элементов, указывающее на возможное космическое происхождение вещества. Так, итальянскими исследователями анализировались частицы, найденные в смоле деревьев 1908 г. [Longo et al., 1994; Serra et al., 1994], были найдены их отличия от частиц более ранних и более поздних. Смолу на корнях поваленного дерева они рассматривали как «запаздывающую ловушку», так как вещество метеорита стало падать после взрыва и корни постепенно выступали из земли, а затем на них выделилась смола. Значит, смола могла уловить лишь взвешенные в воздухе частицы, главным образом – поднятые с земли уже после взрыва. Полученные образцы были исследованы в Болонском университете с помощью электронного микроскопа. Для этого их подготавливали двумя способами. При первом просто отделяли смолу от древесины и рассматривали её поверхность под микроскопом; при втором удаляли смолу, расплавляя её, так что оставались лишь осевшие частицы. Отличительной чертой большинства частиц, найденных в смоле 1908 г., была их форма со сглаженными краями, иногда сферическая, что свидетельствовало о сильном термическом воздействии. Частицы, обнаруженные в смоле до и после 1908 г., обычно имели заострённые края, или «пушистый» вид, что свойственно многочисленным фоновым частицам, всегда присутствующим в воздухе (пыль космического, вулканического, биологического либо индустриального происхождения). Выявленное отличие позволило сделать вывод, что большинство частиц, относящихся к 1908 г., попали в смолу непосредственно от взорвавшегося космического тела, они не могли быть подняты взрывной волной с земли, поскольку тогда не успели бы нагреться до температуры плавления.

Химический состав этих частиц анализировался на рентгеновском спектрометре. Статистический анализ данных с учетом года захвата частиц смолой позволил найти временное распределение относительного количества выявленных химических элементов. Для ряда элементов чётко обозначились частотные пики, относящиеся к 1908 г. В качестве вероятных составляющих Тунгусского тела были идентифицированы Fe, Ca, Al, Si, Cu, S, Zn, Ti, Ni и др. Часть из этого списка совпадает с элементами, найденными другими исследователями путем химического анализа слоев торфа вблизи предполагаемого центра взрыва [Голенецкий и др., 1977].

Таким образом, итальянцами была показана перспективность анализа частиц, застрявших в смоле для идентификации вещества Тунгусского метеорита. Однако космогенные частицы могли застревать не только в смоле, но и в коре или трещинах стволов деревьев.

Однако их результат необходимо дополнить современными методами исследований, что и было нами сделано при помощи рентгеноспектрального микроанализатора «Tescan Vega II» с приставками для энергодисперсионного анализа и катодолюминесценции.

На этом приборе была изучена веточка, найденная Е. В. Дмитриевым в небольшой воронке в торфянике, на северных островах Южного болота. Первоначально находка представляла собой небольшую веточку длиной 5 см диаметром 2 мм.

Веточка была чрезвычайно похожа на обугленную. Однако она имела полированную поверхность, чем отличалась от других подобных образований. Она не оставляла след на бумаге. Цвет веточки, даже в тонких срезах, был абсолютно черный. Это может быть признаком того, что угольное вещество по составу – высокометаморфизованное, т.е. типа графита, что подтверждено микронзондовыми исследованиями.

Из стеклянного контейнера, содержавшего веточку, на смотровое стекло микроскопа Е. В. Дмитриевым были вытряхнуты все оставшиеся в контейнере частицы, затем, при соблюдении высших мер предосторожности, они были перенесены им на двухсторонний угольный скотч. Анализировался химический состав микрочастиц при помощи энергодисперсионного спектрометра Drucool Oxford Instruments, затем проводилось катодолюминесцентное исследование светящихся частиц на спектрометре MonoCL3 фирмы Gatan. Дополнительно изучался химический состав наиболее интересных частиц, выявленных при помощи обзорных катодолюминесцентных съемок. Аналогичная методика была ранее применена при изучении образцов с границы мел-палеоген (Гамс, Австрия [Grachev, 2009]; Стевенс Клинт, Дания [Жорчагин, Цельмович, 2011]).

В результате были обнаружены частицы минералов, которые могут иметь как космическое, так и земное происхождение.

К космическим можно отнести находки зерен, которые могли сформироваться при сильно восстановительных условиях.

К ним относятся частицы: самородного Sn (рис. 1), Zn (рис. 2, рис. 6), W (рис. 3), Cr (рис. 4), Ni, Al, Fe (рис. 5). Возможно присутствие карбидов металлов. Среди этих находок особо выделяются

частицы алмаза типа лондэлеита (рис. 8, рис. 9) и муассанита (рис. 3, рис. 6, рис. 9), которые являются лучшими маркерами импактного события.

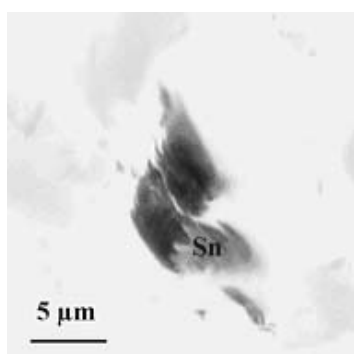


Рис.1. Частица самородного Sn

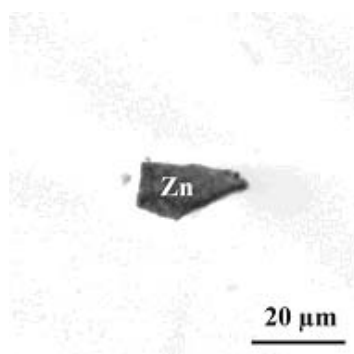


Рис.2. Частица самородного Zn

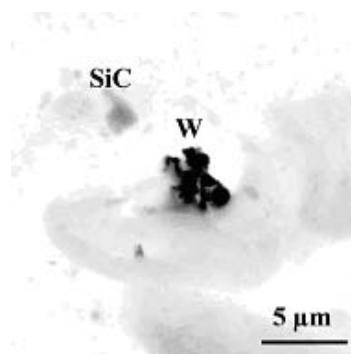


Рис.3. Частицы самородного W и муассанита SiC

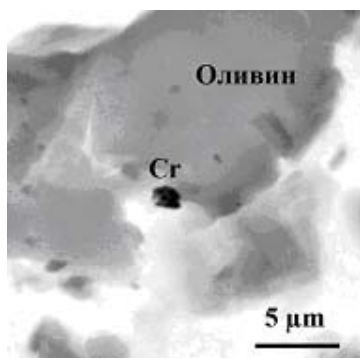


Рис.4. Частица самородного Cr на оливине

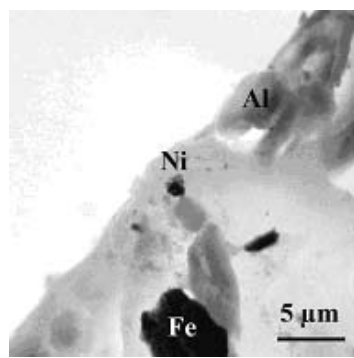


Рис.5. Частицы самородного Ni, Al, Fe

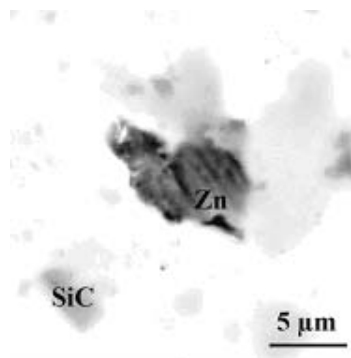


Рис.6. Частицы самородного Zn и муассанита SiC

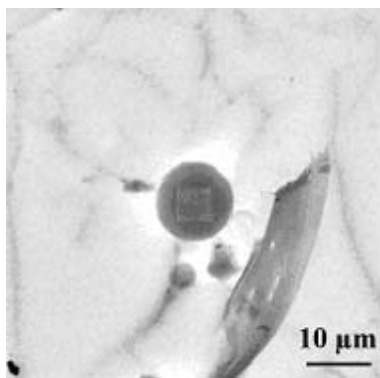


Рис.7. Органические микросферы

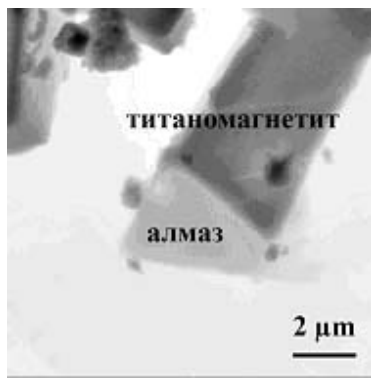


Рис.8. Алмаз на титаномагнетите, датчик обратно рассеянных электронов

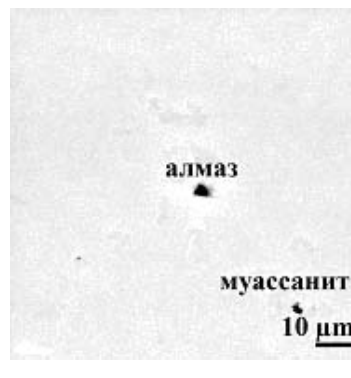


Рис.9. Катодолуминесцентное свечение алмаза и муассанита

Схожие находки были сделаны при изучении границы мела и палеогена, где с высокой вероятностью предполагается импакт [Корчагин, Цельмович, 2011; Grachev, 2009]. На рис. 7 показаны высокоуглеродистые сфериды, возможно, прекурсоры алмаза. Аналогичные формы известны из пограничных слоев перми/триаса в Недуброво [Корчагин и др., 2010]. Микрометровые частицы алмаза (3×3 мкм) и муассанита (2×3 мкм) были найдены благодаря использованию катодолуминесцентного спектрометра. Обзорная катодолуминесцентная картинка приведена на рис. 9, а спектры катодолуминесценции алмаза и муассанита приведены на рис. 10, 11. Найденное зерно алмаза находится на одной из граней титаномагнетита земного происхождения. По-видимому, в процессе ударно-термического воздействия при падении Тунгусского тела произошло эпитаксиальное наращивание алмаза на грань титаномагнетита, чему могла способствовать схожесть их кристаллической структуры. Такое явление – нарастание космического вещества на земное при импакте – ранее наблюдалось автором при изучении астроблемы Цэнхэр (Монголия). Там было обнаружено наплавление самородного железа на частицу магнетита [Салтыковский и др., 2011].

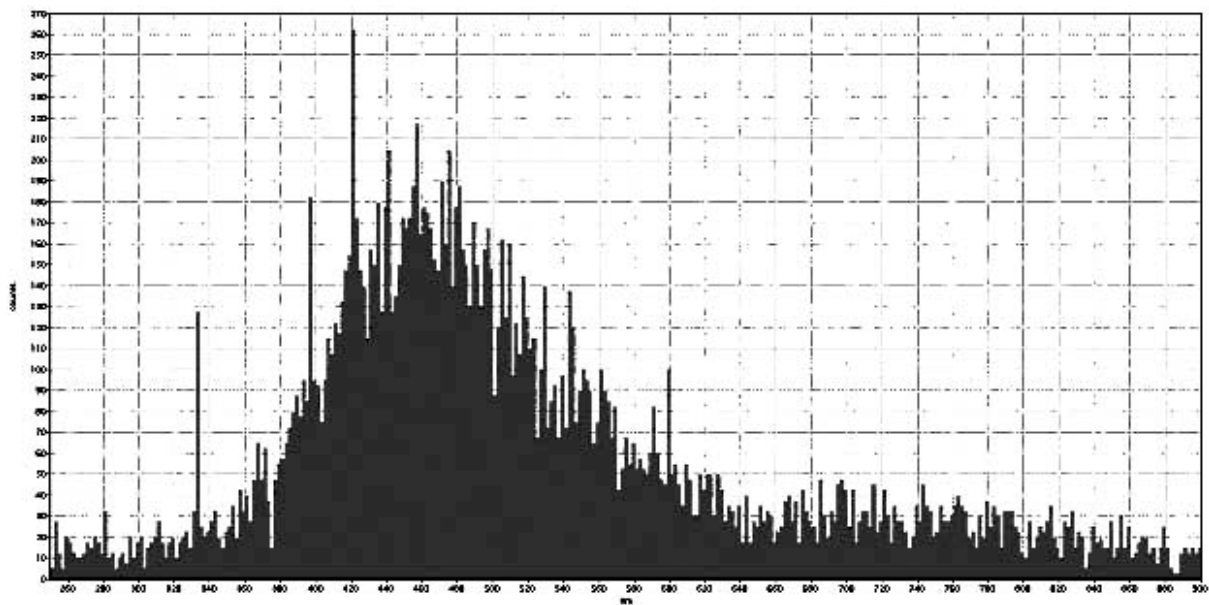


Рис. 10. Католюминесцентный спектр зерна алмаза (голубое свечение).

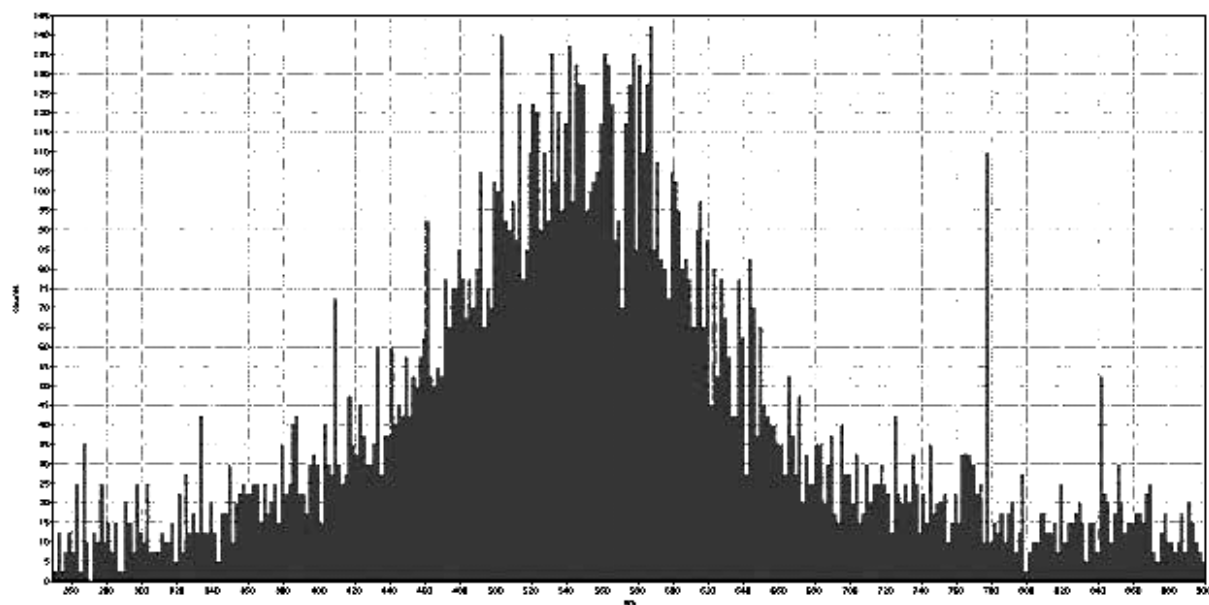


Рис. 11. Католюминесцентный спектр зерна муассанита (оранжевое свечение).

К теллурическим минералам можно отнести частицы магнетита, титаномагнетита, сульфидов железа, пироксенов, мусковита, амфиболов, кварца.

Происхождение оливина и сульфидов железа может быть двойственным. Отдельно следует отметить находки органического вещества, идентификация которого микронзондовым методом затруднена или невозможна. Так, зерна самородного Al и W находятся на углеродных частицах, содержащих Al и W в виде примеси, а скорее всего – в виде наночастиц, размер которых значительно меньше физических возможностей рентгеноспектрального метода.

**Вывод.** Набор минералов космического происхождения позволяет отнести находку Е. В. Дмитриева к 1908 г. к падению Тунгусского тела. Найденные частицы самородных металлов можно отнести к метеоритному веществу, а алмаз и муассанит может быть либо метеоритного происхождения, либо импактного. Очевидна целесообразность продолжения исследований древесины катастрофического периода на предмет обнаружения минералов-маркеров космического вещества. Сделанные находки позволяют предположить, что значительная часть Тунгусского метеорита присутствовала в виде космической пыли.

*Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект 10-05-0017а*

#### Литература

Голенецкий С. П. Признаки космохимической аномалии в районе Тунгусской катастрофы 1908 г. [Текст] / С. П. Голенецкий, В. В. Степанок, Е. М. Колесников // Геохимия. – 1977. – Т. 11. – С. 1635-1645.

**Импактный кратер и состав космического вещества в раннепалеозойской структурной зоне Южной Монголии** [Текст]: матер. XII междунар. конф., М.-Борок, 11-14 октября 2011 г. / А. Я. Салтыковский, В. А. Цельмович, Т. Байараа, А. Н. Никитин, Т. И. Иванкина, Дж. Коматсу, Ю. Ормоо // Физико-химические и петрофизические исследования в науках о Земле.– М., 2011. – С.273-277.

**Корчагин О. А.** Высокоуглеродистые микросферы и сфероиды из пограничных отложений перми-триаса Недуброво, Центральная Россия [Текст]: матер. XI междунар. конф., М.-Борок, 3-6 октября 2010 г. / О. А. Корчагин, В. А. Цельмович, В. Р. Лозовский //Физико-химические и петрофизические исследования в науках о Земле. – М., 2010. – С. 140-142.

**Корчагин О. А.** Космические частицы (микрометеориты) и наносферы из пограничного слоя глины между мелом и палеогеном (К/Т) разреза Стевенс Клинт, Дания [Текст] / О. А. Корчагин, В. А. Цельмович // ДАН. – 2011. – Т. 437, № 4. – С. 520-525.

**Grachev A. F., Ed.** (2009), The K/T Boundary of Gams (Eastern Alps, Austria) and the Nature of Terminal Cretaceous Mass Extinction., doi:10.2205/2009-GAMSbook. (Print companion published by the Geological Survey of Austria, *Abhandlungen*, 63, 2009, 199 pp.)

**Longo C., Serra B., Cecchini S., Galli M.** Search for microremnants of the Tunguska cosmic body // Planet. Space Sci. 1994. V.42. № 2. P. 163-177.

**Serra R., Cecchini S., Galli M., Longo G.** Experimental Hints on the Fragmentation of the Tunguska Cosmic Body // Planetary and Space Science, 1994. V.42. Na 9. P. 777-783.