

## ДИАГНОСТИКА ПРОИСХОЖДЕНИЯ МАГНИТНЫХ МИКРОСФЕР

В.А. Цельмович<sup>1</sup> (*borok1@mail.ru*), О.А. Корчагин<sup>2</sup>,  
А.Н. Некрасов<sup>3</sup> (*alex@iem.ac.ru*), С.В. Старченко<sup>4</sup> (*sstarchenko@mail.ru*)

<sup>1</sup>ГО «Борок» ИФЗ РАН, пос. Борок, Ярославская обл.;

<sup>2</sup>ГИН РАН, Москва;

<sup>3</sup>ИЭМ РАН, Черногоровка, Московская обл.;

<sup>4</sup>ИЗМИРАН, Троицк, Московская обл.

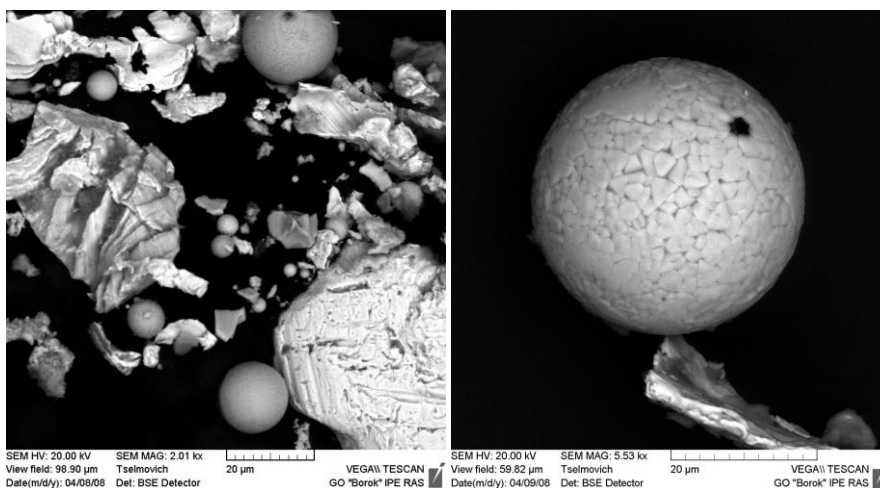
Металлические частицы и микросферы (сферулы) часто встречаются в метеоритных кратерах и рядом с ними [1–5], в современных и в ископаемых осадках [7, 8], в других местах. Они интересны тем, что имеют характерную форму, а иногда можно видеть их внутренне строение, имеют специфический химический состав и находятся в парагенетической связи с самородными металлами и интерметаллическими соединениями, что позволяет использовать их в качестве индикаторов процессов самородного минералообразования и окислительно-восстановительных условий генезиса пород [9]. «Космические» шарики довольно часто обнаруживают в так называемой метеорной космической пыли. Считают, что эти частицы образуются в процессе абляции метеоритов при их прохождении через слои атмосферы путем непрерывного сдувания с поверхности метеорных тел плавящегося вещества и разбрызгивании его в атмосфере в виде мельчайших капелек. Второй механизм их образования - конденсация газа или затвердевание расплава в процессе испарения метеоритного вещества при ударе метеорита о Землю. Третий возможный механизм - поглощение атмосферных аэрозолей жидкими средами, например, морской водой, с последующей их агломерацией [10].

В последние десятилетия, благодаря появлению совершенных электронных микрозондов, были достигнуты большие успехи в изучении вещественного состава микросфер. Но главная проблема – определение их происхождения - в настоящее время остается до конца не решенной. Проблема заключается в том, что в большинстве случаев сферулы обнаруживаются в продуктах обогащения проб вне связи с коренным источником или вмещающей средой (если это протоолочки). Многочисленные находки, сделанные в различных местах, привели к появлению разных взглядов по этому вопросу. Микросферы и сферулы рассматриваются как космические, техногенные или природные (земные) образования. Среди последних выделяют магматические и гидротермальные. Однако однозначных критериев для диагностики происхождения сферул до сих пор не выработано. Особые споры вызывают сферулы, образование которых связывают с взрывными кольцевыми структурами. Иногда их относят к продуктам импактного метаморфизма, или связывают с земным вулканизмом [9]. Отдельно изучаются магнетитовые микросферы, как обязательная компонента космической пыли или микрометеоритов [3]. Показано [9], что микросферы (сферулы) приурочены к слоям пирокластических и вулканогенно-осадочных, а источником их образования являются взрывные выбросы вулканов [9]. Однако в этом случае речь идет о сравнительно крупных образованиях (1-2 мм). Отмечено, что изученные сферулы [9] имеют магматическое происхождение и являются рудными образованиями.

Микросферы могут образовываться и при антропогенных процессах [10]. По мнению авторов, накопление данных по совместному нахождению микросфер и магнитных частиц с другими минералами, по изучению их тонкого и сверхтонкого химического строения, может дать ответ на вопрос о том, какие процессы, химические или космические, техногенные или иные приводят к их появлению. Тогда появится возможность решать обратную задачу: использовать микросферы и другие магнитные микрочастицы для стратиграфических и микростратиграфических целей. В этом случае импакты могут быть использованы как стратиграфические реперы.

Разработанная методика позволяет проводить диагностику очень небольших объемов вещества (0,1–1 см<sup>3</sup>). Работы, проведенные на современных приборах (Tescan Vega II с волновым и энергодисперсионным спектрометрами) показали, что физических возможностей метода электронно-зондового микроанализа часто не хватает для идентификации наночастиц. Появившиеся в последнее время приборы с дифракцией обратно-рассеянных электронов, более эффективные энергодисперсионные спектрометры позволяют перейти с микроуровня на наноуровень и ответить на вопросы, возникшие при изучении микросфер на микроуровне.

Изучены морфология и состав магнитных частиц из современных осадочных пород озер Плещеево и озера Б.Ложка [7, 8]. Показано, что значительная их часть представлена микросферами из магнетита. Они имеют размер от 0,2 для 50 мкм.



**Рис. 1.** Космические шарики девонского возраста (Днестровская серия, низ Устечковской свиты) в окружении частиц самородного железа и никеля.

Мы полагаем, что микросферы космического происхождения из верхних слоев (сформировавшихся в течение последних 100 лет, датировку короткого керна определяли с помощью прямых измерений темпов седиментации) осадков озера Плещеево, скорее всего, являются фоновыми, так как никаких импактных событий в это время не наблюдалось; влияние Тунгусского феномена не изучалось). Тем не менее, количество извлеченных микросфер сопоставимо с количеством терригенного магнетита, попавшего в осадки в то же время. Часто микросферы имеют характерную микроструктуру, которые различные исследователи называют «такырной», «таблитчатой», «дендроидаальной» (Рис. 1, Рис. 2), подробная морфологическая классификация дана в работе [3]. Такая структура образуется, вероятно, в процессе поверхностных изменений магнетитовых микросфер, связанных с их однофазным окислением и проявляется, как было нами установлено, на микросферах с диаметром более 1 мкм. Если мы обнаруживаем космические шарики совместно с металлическим железом, никелем и другими минералами, характерными для метеоритов, то можно говорить об их космическом происхождении, о наличии процесса накопления космической пыли и микрометеоритов.



**Рис. 2.** Космические шарики девонского возраста из Юго-Западного Приморья (Дальний Восток).

Такие совместные обнаружения были сделаны на образцах с повышенной (относительно рядом расположенных слоев) намагниченностью в озере Б.Ложка, в образцах девонского возраста, в образцах с границы мел-палеоген [1, 2], из кратера Чиксулуб. Эти слои в осадках вызывают особый интерес у исследователей, поскольку в них могла записаться такая информация о древнем геомагнитном поле, которая необходима для решения проблем определения древнего состояния геодинамо [11, 12]. Такая палеомагнитная запись может приближаться по качеству и даже существенно превосходить качество записи с использованием лавовых потоков, т.к. процесс охлаждения космического вещества микросфер идет несравненно быстрее, чем охлаждение огромных лавовых массивов. Вместе с тем, подобные преимущества малого размера микросфер оборачиваются недостатками при их палеомагнитном анализе. Однако дальнейшее развитие предлагаемых нами методов микрозондирования должны помочь и в решении круга задач по проведению палеомагнитного анализа с использованием микроскопических объемов вещества. Аномальные по намагниченности слои были обнаружены в современных осадках оз. Б.Ложка и в образцах девонского возраста. Микрозондовое изучение этих слоев показало, что в них содержится высокое

количество частиц типично космического происхождения, содержащих чистый никель и сплав никеля с железом. Наиболее интересны совместные находки тугоплавких шпинелей (прежде всего – никелистых шпинелей), которые могли возникнуть при абляции [3]. На Рис. 3 показана частица никелистой шпинели из кратера Чиксулуб.

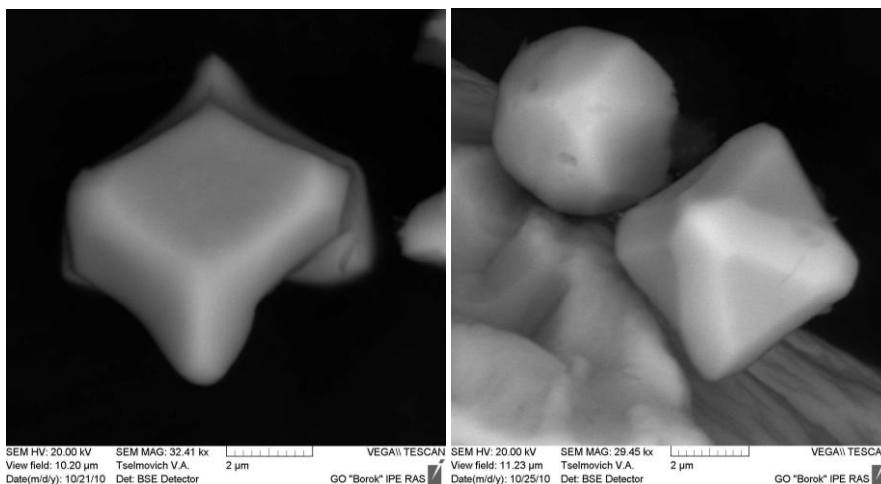
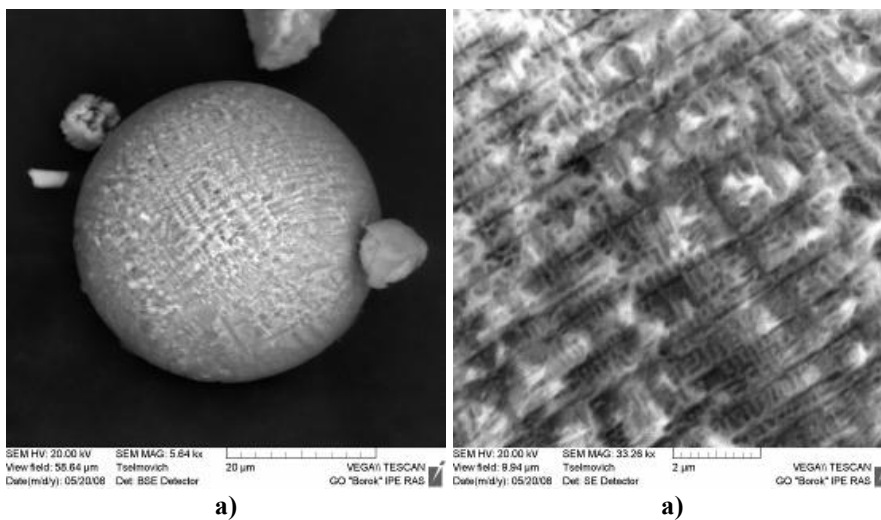


Рис. 3. Никелистая шпинель из кратера Чиксулуб.

В результате микронзондовых исследований магнитных частиц и микросфер из различных горизонтов озера Б.Ложка во всех изученных слоях были обнаружены фоновые магнетитовые космические шарики [7]. Их количество варьировало от слоя к слою. Однако в верхней части колонки (слои 1–12) были найдены магнитные шарики с иной морфологией и составом - железистые алюмосиликатные шарики с выделениями магнетита (Рис. 4). Эти шарики могли возникнуть в результате работы существовавшего на берегу озера металлургического производства - деятельностью жителей поселения горносталевского этапа потчевашской культуры. Таким образом, в осадке был найден горизонт, маркированный железистыми алюмосиликатными шариками со структурами распада плагиоклазов и пироксенов с нано – и микроразмерными выделениями магнетита, характеризующий время начала работы древнего металлургического производства. Этот вывод важен для археологических реконструкций.



а)

а)

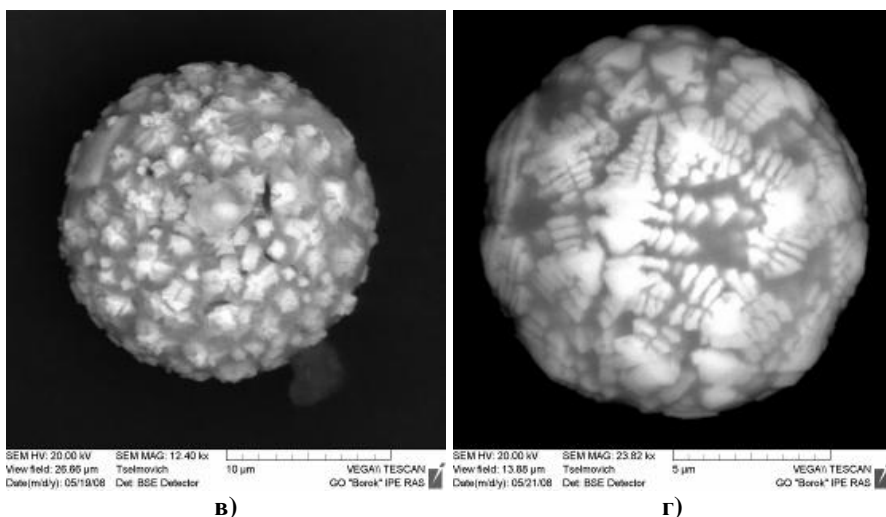


Рис. 4 а, б (б - фрагмент а), в, г – структуры распада пироксенов с тонкими выделениями магнетита в металлургических шариках из озера Б.Ложка. Слой 3.

Отмеченные особенности космических шариков (микросфер) заключаются в следующем:

1. Они имеют практически идеальную сферическую форму и характерную микроструктуру. Некоторые шарики имеют полость внутри [8].
2. Микросферы обнаруживаются совместно с космическими минералами и самородным железом. Наиболее распространенный индикатор наличия космического вещества - сплав никеля с железом. Идеальным индикатором импактного события может быть совместное обнаружение никелистой шпинели. Космические микросферы обычно не содержат титан.
3. Тонкие структуры выделения магнетита из алюмо-силикатного стекла могут свидетельствовать об антропогенном происхождении микросфер. Возможно, их источником было древнее металлургическое производство.
4. С развитием нанотехнологий микросферы могут дать и палеомагнитную информацию.

*Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 10-05-00117а*

1. Grachev A.F., Korchagin O.A., Kollmann H.A., Pechersky D.M., Tsel'movich V.A. A New Look at the Nature of the Transitional Layer at the K/T Boundary near Gams, Eastern Alps, Austria, and the Problem of the Mass Extinction of the Biota. *Published in Russian Journal of Earth Sciences, 2005, Vol. 7, No 6, P. 1-45*
2. Grachev A.F. (Ed.) The K/T boundary of Gams (Eastern Alps, Austria) and the nature of terminal Cretaceous mass extinction. (2009). *Abhandlungen der geologischen Bundesanstalt. Bd.63. 199 p.*
3. Грачев А.Ф., Корчагин О.А., Цельмович В.А., Коллманн Х.А. Космическая пыль и метеориты в переходном слое глин на границе мела и палеогена в разрезе Гамс (Восточные Альпы): морфология и химический состав // *Физика Земли. 2008. №7. С. 42-57*
4. Dredge Ian, Parnell John, Lindgren Paula et al. Elevated flux of cosmic spherules (micrometeorites) in Ordovician rocks of the Durness Group, NW Scotland // *Scottish Journal of Geology* 2010; v. 46; p. 7-16. doi: 10.1144/0036-9276/01-394
5. Korchagin O.A., Dubinina S.V., Tsel'movich V.A., Pospelov I.I. «Possible Impact Event in the Late Cambrian» // *Global Geology (International-China). Acta Palaentologica Sinica, 46 (Suppl.). 227-231 (June, 2007).*
6. Цельмович В.А., Бретштейн Ю.С. О возможном импактном событии, записанном в вулканических породах Южно-Синегорской Дивы. // *Материалы II Всероссийской молодежной научной конференции "Минералы: строение, свойства, методы исследования". 23-26 марта 2010 г. Екатеринбург-Миасс: УрО РАН, 2010. С.354-356.*
7. Цельмович В.А., Казанский А.Ю. Магнитные частицы космического и антропогенного происхождения из осадков озера Б.Ложка (Новосибирская область). / *Электронный научно-информационный журнал «Вестник Отделения наук о Земле РАН» №1(27)2009 ISSN 1819 – 6586. URL: http://www.scgis.ru/russian/cp1251/h\_dgggms/1-2009/informbul-1\_2009/planet-32.pdf*
8. Цельмович В.А., Романовский А.В. Космические магнитные минералы в осадках озера Плещеево // *Восьмая международная конференция "Физико-химические и петрофизические исследования в науках о Земле". Материалы семинара. Москва, 9-11 октября 2007 г. Москва, 2007. С.141-143.*
9. Сандимирова Е.И. Микросферулы как индикаторы флюидных (флюидно-магматических) процессов областей современного вулканизма // *Материалы IV Всероссийского симпозиума по вулканологии и палеовулканологии. 22-27 сентября 2009 года Россия, Камчатский край, г. Петропавловск-Камчатский Том 1, 2. Петропавловск-Камчатский. 2009. http://kcs.dvo.ru/ivs/conferences/symposium\_4/abstr/abs6-35.pdf.*
10. Цельмович В.А., Трухина М.В., Бобылева О.Н., Провоторов М.В. Генезис железосодержащих частиц космического происхождения. Полученные факты и их анализ. // *Материалы II Всероссийской молодежной научной конференции "Минералы: строение, свойства, методы исследования". 23-26 марта 2010 г. Екатеринбург-Миасс: УрО РАН, 2010. С.357-359.*
11. Старченко С.В., Ботвиновский В.В. Азимутальные токи и палеомагнитные уровни // *Физика Земли. 2003. № 5. С. 85-93.*
12. Pushkarev Y.D., Starchenko S.V. Solid core as relic of protocore // *Geochimica et Cosmochimica Acta. 2010 V.74, Issue 12, Suppl.1, P.A835.*

