

5. *Enkin R.J.* The direction-correction tilt test: an all-purpose tilt/fold test for paleomagnetic studies. *Earth and Planetary Science Letters*. 2003. V. 212. pp. 151-166.
6. *McFadden P.L.* A new fold test for paleomag. studies // *Geophys. J. Int.* 1990. V. 103. P. 163-169.
7. *McFadden P.L., McElhinny M.W.* Classification of the reversal test in palaeomagnetism. // *Geophys. J. Int.*, 1990, NO 103, pp.725-729.
8. *Kravchinsky V.A., Cogne J-P., Harbert W.P., Kuzmin M.I.* Evolution of the Mongol-Okhotsk Ocean as constrained by new palaeomagnetic data from the Mongol-Okhotsk suture zone, Siberia. *Geophys. J. Int.*, 2002. V. 148, pp. 34-57.
9. *Huang B., Otofujii Yo-ichiro, Yang Z., Zhu R.* New Silurian and Devonian palaeomagnetic results from the Hexi Corridor terrane, northwest China, and their tectonic implications. // *Geophys. J. Int.*, 2000, No 140, pp.132-146.
10. *Zhao X., Coe R., Wu H., Zhao Z.* Silurian and Devonian paleomagnetic poles from North China and implications for Gondwana // *Earth Pl. Sci. Lett.* 1993, Vol. 117, P. 497-506.
11. *Ye Z., Ji-Wen T.* The structure of the crust and upper mantle in the Shuixian-Maanshan zone and some characteristics of the south part of the Tan-lu tectonic belt // *Acta Geophys. Sinica*, 1989, V. 32, No. 6. pp. 648-659.

ОСОБЕННОСТИ МАГНИТНЫХ МИНЕРАЛОВ ПАЛЕОЗОЙСКИХ ВУЛКАНИТОВ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

Ю.С. Бретшттейн¹, В.А. Цельмович² (*tselm@mail.ru*)

¹ИТиГ ДВО РАН, Хабаровск;

²ГО «Борок» ИФЗ РАН, пос. Борок, Ярославская обл.

В пределах Южно-Синегорской наложенной тектонической депрессии в Юго-Западном Приморье, сложенной коллажем тектонически разобшённых по возрасту и генезису геоблоков пород различного состава, изучены магнитные свойства девонских и карбоновых риолитов. Указанные вулканы различаются внешним обликом и, в меньшей степени, – химизмом. Обе возрастные группы принадлежат к щелочным эффузивным разностям, их возраст базируется на достаточно устаревших К-Аг определениях, выполненных в 60-х годах прошлого столетия.

Термомагнитные кривые и петли магнитного гистерезиса характеризуют особенности состава, размера зёрен и структуры магнитных минералов этих пород (Рис. 1).

По данным термомагнитного анализа магнитные свойства липаритов обусловлены наличием в основной массе этих пород преимущественно ферримагнитного магнетита, окисленного при высоких температурах. Реже в составе ферримагнитной фазы присутствует магнетит с примесью маггемита и гематит. В экструзивных разностях риолитов, судя по параметрам коэрцитивности H_c и H_{cs} , а также соотношениям величин I_s и I_{rs} в различных температурных интервалах, на графиках температурного размагничивания $I_s(T)$ и $I_{rs}(T)$ в отдельных случаях фиксируются блокирующие температуры, превышающие 700° градусов, которые отвечают T_C (блокирующей температуре) чистого железа. Последнее обстоятельство представляется достаточно необычным, поскольку, в отличие от пород основного и ультраосновного состава, где самородное железо встречается достаточно часто, в эффузивных и

экструзивных породах, формирующихся при излиянии на поверхность в окислительной, а не восстановительной среде, более характерно присутствие окислов железа. Для минералогической идентификации состава ферритмагнетиков образцы вулканической породы были измельчены в яшмовой ступке, дополнительно раздроблены и очищены в ультразвуковом диспергаторе по разработанной методике [1]. В водной среде при помощи мощного ручного магнита были извлечены агрегаты магнитных зёрен, которые затем изучались при помощи электронно-зондового микроанализатора «Tescan-Vega II».

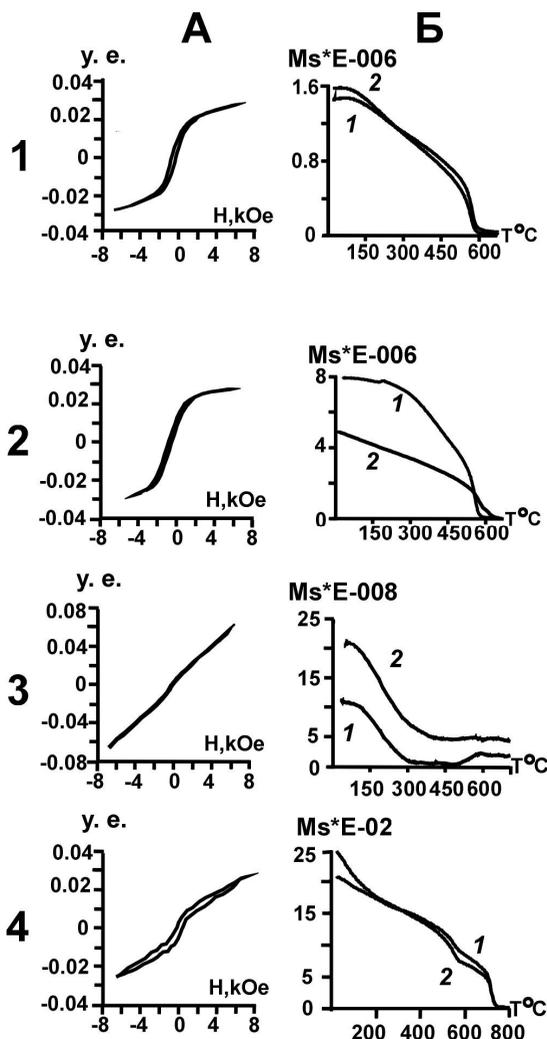
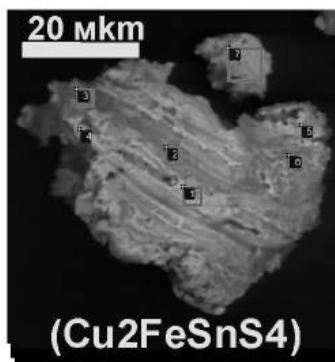
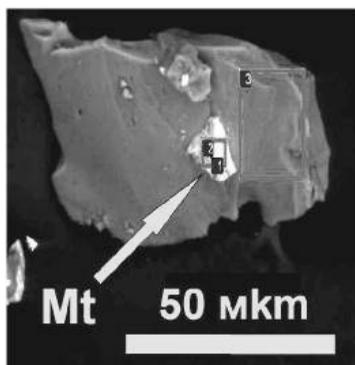
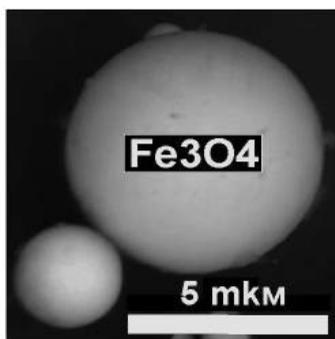
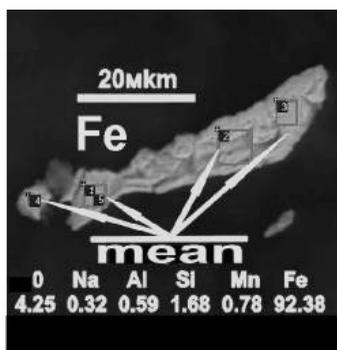


Рис. 1. А – гистерезисные петли нормального намагничивания $I_r(H)$; Б – графики температурного размагничивания $I_s(T)$: 1 (2) – первый (второй) нагревы. 1-4 (большие цифры слева) – графики для пород с различным минеральным составом носителей I_n : 1 – окисленным при высоких температурах магнетитом, 2 – магнетитом с примесью маггемита, 3 – с преобладанием парамагнитных минералов, 4 – с самородным железом.



					Mean %								
O	Si	Fe	Co	SUM	O	Al	Si	P	Fe	Co	Cu	Sn	SUM
32.75	3.17	62.52	0.57	100.00	12.23	0.41	1.58	0.65	18.05	0.09	53.42	13.57	100.00

Рис. 2. Типичные частицы самородного железа (Fe), магнетитовые сферулы (шарики), а также включения частиц магнетита (Mt) в силикатах и станина (Fe₂SnS₄)?

В результате микронзондового анализа были обнаружены магнитные частицы различной морфологии и состава: магнетитовые шарики размером от 1 мкм до 20 мкм, микросферулы самородного железа, никеля, а также магнетита Fe₃O₄, и аварита Ni₃Fe и некоторых сульфидов. Самородное железо и частицы магнетита встречаются также в виде пластинок, чешуек, изогнутых иголок и гофрированных пластинок самой разнообразной формы. Величина (в % соотношении) ряда элементов в изученных (сканированных) зёрнах может достигать: Fe для металлического железа и магнетита – соответственно до 100% и 74%, Ni – до 35% Cr и Co – 1-3%, олова и меди – соответственно до 20% и 68%. Учитывая процентные соотношения Cu, Fe, Ni и Sn в скани-

руемых зёрнах, не исключено также присутствие в приморских риолитах (обычно содержащих высокие кларковые содержания олова) вторичного оловянистого минерала станнина $\text{Cu}_2\text{FeSnS}_4$. Отдельные зёрна, возможно, могут представлять собой различные сплавы Fe, Ni, Cr и Cu. Фото и результаты сканирования отдельных зёрен приведены на Рис. 2.

Обычно чаще всего шарикам железа и никеля (широко распространённым и в осадочных породах различных мест нахождения и возраста) приписывается космическое происхождение. Примеры нахождения металлических и магнетитовых микросферул предположительно внеземного происхождения известны по данным изучения осадочных пород различного возраста, где они образуют скопления, в виде отдельных горизонтов или микрослоев, в отложениях различного возраста – кембрия, девона, на границе перми-триаса, мела-палеогена и др. [2-5 и др.]. В некоторых случаях находки металлических микросферул и микрочастиц сопровождаются минералами импактного происхождения (микроалмазами, муассанитом, Ni-содержащей шпинелью [6]).

Вместе с тем следует отметить, что, несмотря на достаточно широкое распространение магнетитовых шариков в различных геологических обстановках (в консолидированной земной коре, морских донных отложениях, ледниковых толщах), в породах различного возраста – от протерозоя до четвертичных и тот факт, что, как предполагается, ежегодно на поверхность Земли выпадает до 10 тысяч тонн космического вещества [7], «стойкий соблазн» считать все подобные микрочастицы маркерами только космического происхождения, как представляется, не всегда оправдан. Существует и другая точка зрения – им приписывается эндогенное происхождение.

Ряд исследователей связывает, в частности, образование микросферул с кавитационными явлениями, возникающими в процессе магматического и гидротермального минералообразования [8-9], т. е. постулируется их эндогенная природа. Их формирование в вулканитах может обуславливаться «вскипанием» неравновесной магмы по механизму кавитации в результате быстро протекающих газотранспортных реакций при прохождении высокотемпературных восстановительных флюидов. Кавитация представляется распространённым и важным физическим эффектом в процессах формирования нано- и микрочастиц минералов в горных породах и на рудных месторождениях.

Эффект кавитации может возникать при заполнении флюидом приоткрывающихся трещин и пустот в зонах минерализации. Переход от режима медленного просачивания гидротермальных растворов по каналам во вмещающей породе к быстрому заполнению трещин приводит к значительному понижению локального давления, выделению пузырьков газа, а затем к кавитационному скаланию пузырьков в процессе восстановления давления при полном заполнении приоткрывшегося пространства. При сжатии кавитационных пузырьков в них могут развиваться давления в сотни килобар и температуры порядка десятков тысяч градусов, формироваться сверхзвуковые кумулятив-

ные микроструи и ударные волны, идти высокотемпературные химические реакции [10].

Данная модель позволяет объяснить появление микросферул с размерами, находящимися в приемлемом соответствии с данными наблюдений. Рассмотренный кавитационный механизм формирования сферических и псевдосферических частиц может приводить к образованию в гидротермальном флюиде минеральных наночастиц. Если размеры зёрен находятся в нанометровом диапазоне, то в результате взаимодействия со сжимающимся кавитационным пузырьком твёрдые зёрна переходят в капли расплава, которые впоследствии затвердевают, превращаясь в наночастицы сферической (или почти сферической) формы.

К появлению микросферул может также приводить процесс абляции – выброс в окружающую жидкость перегретого слоя расплавленного вещества в виде мелких нанокпель в случае, когда температура в сжимающемся кавитационном пузырьке превосходит температуру кипения вещества нанокпели, соответствующую внешнему давлению в гидротермальном флюиде. Микросферулы могут формироваться в результате плавления уже изначально находящихся в породах зёрен минералов и самородных элементов-металлов. Их размер не должен превосходить характерные размеры и формы зерен, обусловленные термодинамическими условиями системы, которые способствуют возникновению и сохранению структур с минимальными энергетическими затратами на их формирование – мелких шарообразных наночастиц рудных минералов и самородных элементов. Такие формы зёрен могут возникать в случае проникновения, например, в пористую среду флюидальных риолитов восстановленных флюидов, их спонтанном переохлаждении и пересыщении катионами соответствующих химических соединений и самородных элементов [11].

Резюмируя вышесказанное, можно констатировать, что многими авторами, прежде всего петрологами и металлогенистами, в отличие от геофизиков, постулируется преимущественно эндогенный генезис магнитных сферул, которые часто обнаруживаются в виде агрегатов включений на стенках полостей застывших вулканических пород, возникших в кристаллизирующейся магме под воздействием газовых струй. Их формирование в вулканиках может обуславливаться «вскипанием» неравновесной магмы в результате быстро протекающих газотранспортных реакций при прохождении высокотемпературных восстановительных флюидов.

Вместе с тем, вслед за [12], можно утверждать, что выявляемые в различных породах разнообразные микрочастицы самородных, окисных и сернистых металлов как предположительно космического, так и магматического происхождения морфологически практически не различаются. Чёткие критерии их отличия в породах на сегодняшний день отсутствуют. В большей степени они различаются по химическому составу, который более дифференцирован для частиц, которым приписывается космический генезис.

В пользу космического происхождения микрочастиц часто указывается на преобладание в магнитной фракции пород самородных металлов – чистого железа, никеля, платины. С другой стороны, известны экспериментальные работы, а также результаты изучения реальных парагенезисов минералов, позволяющие восстановить возможные физико-химические P-T – условия и в магматических расплавах, которые могли способствовать возникновению подобных составов и морфологических особенностей у отдельных представителей минеральных ассоциаций минералов и самородных металлов.

На основе обзора литературных источников [13 и др.] можно полагать, что сферулы могут образовываться на протяжении всего магматического процесса, при этом механизмы образования могут быть самыми различными. Аналитическими методами установлено, что сферулы представляют собой сложные поликомпонентные минеральные агрегаты, в строении которых принимают участие самородное железо и сложные его окислы с примесью других элементов. В ассоциации со сферулами встречаются самородные металлы – Fe, Cu, Pb, Zn, Ag, интерметаллические соединения системы Cu-Zn-Sn-Pb и другие акцессорные минералы (корунд, рутил, алмадин, циркон, шпинели сложного состава, графит, муассанит и др.), а также остроугольные обломки стёкол тёмно-бурого цвета и шлаковидные частицы чёрного цвета. Сравнение состава обломков стёкол, шлаковидных частиц и сферул показывает, что это генетически родственные образования.

По [14] наиболее благоприятная обстановка для образования сферул создаётся при вскипании и дегазации магматического расплава, а также во время извержений вулканов, сопровождающихся взрывными явлениями и процессами плавления. В таких условиях сферулы образуются в результате быстро протекающих газотранспортных реакций с участием восстановительных флюидов, которые способствуют расщеплению вещества на несмешивающиеся компоненты по типу ликвации и приводят к образованию рудных, рудно-силикатных или силикатных капель расплава. В виде включений магнетитовые сферулы установлены в интрузивах и эффузивных породах андезитобазальтового состава в наиболее ранних генерациях вкрапленников пироксенов и плагиоклазов, а также в основной массе пород. Они являются характерными компонентами минеральных ассоциаций, развивающихся на стенках пустот средних и кислых вулканитов. Температурный интервал образования сферул и сопутствующих минералов достаточно широк, по разным оценкам он колеблется в среднем от 1200°C до 600°C [12, 15].

Существующая конвергенция признаков на данном этапе изученности проблемы не позволяет прийти к однозначным выводам и затрудняет обоснованное разделение в природных объектах частиц космического и эндогенного происхождения. Вероятно в общем случае основания предполагать более широкое распространение микросферул и микрочастиц ферритов (минералов и самородных элементов) космического происхождения в осадочных породах, нежели в эффузивных (возникших из магматических расплавов).

Следует отметить, что геологическую структуру района, где обнаружены микровключения минералов столь своеобразного состава и морфологии, в геолого-тектоническом отношении некоторые исследователи интерпретируют как «тектоносферную воронку» [16] или «*дива*-структуру» [17]. Сама овальная форма Южно-Синегорской тектонической депрессии дискордантна всем выше и ниже лежащим толщам – не согласуется как с более древними структурами протерозойского и раннепалеозойского фундамента (имеющим преимущественно северо-западное простирание), так и с молодыми мезокайнозойскими структурами северо-восточного («тихоокеанского») направления. Эту депрессию, представляющую собой коллаж мелких геоблоков различного простирания, сложенных породами разнообразного состава и возраста, «при достаточном воображении», можно рассматривать даже как древнюю палеозойскую астроблему. Обнаруженные здесь микрочастицы самородных элементов могут иметь, кроме «чисто космического», также и эндогенное происхождение, в т. ч., возможно, обусловленное неким импактным событием. Можно предположить, что последнее, интенсифицируя своим ударно-взрывным воздействием деятельность магматического очага, могло привести к активизации высокотемпературного флюидно-газового режима, способствовавшего формированию микросферул и микрочастиц различных химических элементов и соединений.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке ДВО РАН (проект 09_III_A_08_442) и РФФИ (проект № 10-05-00117).

1. *Цельмович В.А.* Микроскопическая диагностика магнитных частиц в изверженных и осадочных породах. // Палеомагнетизм и магнетизм горных пород; теория, практика, эксперимент. Материалы семинара. Борок, 2006. С.149-154.
2. *Бретштейн Ю.С., Климова А.В., Цельмович В.А.* Магнитно-минералогическая идентификация компонент намагниченности девонских пород Приамурья. Материалы VIII Сессии «Физико-химические и петрофизические исследования в науках о Земле». ИФЗ РАН, Геофизическая обсерватория «Борок», 2007. С.
3. *Корчагин О.А., Цельмович В.А., Дубинина С.В.* Метеоритные микросферы и частицы из глаубоководных известняков верхнего кембрия (Батырбай, Южный Казахстан) // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. Минералогия, петрография, литология. 2007, №3. С. 17-22.
4. *Грачёв А.Ф., Цельмович В.А., Корчагин О.А.* Космическая пыль и микрометеориты в древних земных слоях. Земля и Вселенная. 2008. № 5. С. 59-67.
5. *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.
6. *Взрывные кольцевые структуры щитов и платформ.* М.: Недра, 1985. 200 с.
7. *Юдин И.А.* Исследование искусственной метеорной пыли (шариков) // Метеоритика, 1969. Вып. XXIX. С. 132-141.
8. *Адушкин В.В., Андреев С.Н., Попель С.И.* Кавитационный механизм формирования нано- и микрочастиц минералов в рудных месторождениях // Геология рудных месторождений. 2004. Т. 46. № 5. С. 363-370.
9. *Новгородова М.И., Андреев С.Н., Самохин А.А., Гамянин Г.Н.* Кавитационные эффекты в образовании минеральных микросферул в гидротермальных растворах // Докл. РАН. 2003. Т. 389. С. 669-671.
10. *Маргулис И.А., Маргулис М.И.* Динамика одиночного кавитационного пузырька // журн. Физической химии. 2000.Т. 74. № 3. С.566-574.

11. *Хенкина С.Б.* Продукты ликвации в породах мелового – палеогенового возраста Охотско-Чукотского вулканогенного пояса (ОЧВП) и особенности их металлоносности // ДАН СССР, 1978. Т. 238. № 2. С. 433-436.
12. *Сандиминова Е.И.* Особенности химического состава силикатных сферул из вулканических пород Курильских островов и Южной Камчатки // Проблемы геохимии эндогенных процессов и окружающей среды. Мат. Всероссийской научной конференции. Иркутск, 2007. Т. 2. С. 217-221.
13. *Самородное минералообразование в магматическом процессе* // Тез. докладов, Якутск, Якутский филиал СО АН СССР, 1981. 208 с.
14. *Филимонова Л.Г.* Закономерности развития вулканизма и рудообразования активизированных тихоокеанских окраин. М.: Недра, 1985. 159 с.
15. *Шарапов В.Н., Павлов А.Л., Акимцев В.А. и др.* Физико-химические характеристики отложения минералов из магматического флюида при кристаллизации базальтов срединно-океанических хребтов // Геология рудных месторождений, 2001. Т. 43. № 1. С. 83-96.
16. *Изосов Л.А.* Южно-Синегорская тектоносферная воронка Ханкайского массива // Тектоника, геодинамика и процессы магматизма и метаморфизма: Тез. докл. XXXII тектонического. Совещания. Т. 1. М.: РАН, 1999. С. 278-281.
17. *Chen Guoda.* Characteristics and nature of diwa-region compared with so-called «paraplatform» // Acta Geol. Sinica. 1960. V. 40. p. 162-186.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА РЕГИДРОКСИЛАЦИИ В АРХЕОМАГНИТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ ДЛЯ ДАТИРОВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ ИЗ ОБОЖЖЕННЫХ ГЛИН

К.С. Бураков (K.S.Burakov@mail.ru), И.Е. Начасова

ИФЗ РАН, Москва

Приведены результаты определения напряженности древнего геомагнитного поля по намагниченности образцов керамики и кирпичей из Испании, Англии и Северного Причерноморья, датированных методом регидроксиляции. Комплексное исследование, проведенное на датированном материале, позволило определить среднюю температуру окружающей среды, существовавшую на территории памятников. На основе полученных данных можно сказать, что в первом тысячелетии климат был более теплым по сравнению с нынешним.

Введение Археомагнитное датирование материалов археологических памятников – обожженных глин (кирпичей, керамики, черепицы, печей и т.п.) производится путем сопоставления параметров древнего геомагнитного поля (склонения D, наклонения I и напряженности B), определенных по остаточной термонамагниченности образцов, отобранных из датированного объекта, с известными для данного региона кривыми вариаций D, I и B на рассматриваемом временном интервале.

Точность такого датирования определяется с одной стороны – точностью определения параметров геомагнитного поля по материалу датированного объекта, с другой – точностью построения калибровочных (построенных для региона) кривых вариаций, т.е. точностью определения параметров геомагнитного поля, точностью датирования и подробностью распределения на временной шкале археологических материалов, используемых для построения калибровочных кривых. Существующие калибровочные кривые вариаций