

МИКРОСТРУКТУРА, СОСТАВ И МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА ЗЮВИТОВ КАРСКОЙ АСТРОБЛЕМЫ

*Е.С. Сергиенко¹, В.А. Цельмович², В.В. Попов³,
А.Е. Цибульская⁴, Е.А. Драбкина¹, И.Н. Петров¹*

¹Физический ф-т СПбГУ, Санкт-Петербург;

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

³ВНИГРИ, Санкт-Петербург;

⁴ЗАО «ПОЛЯРГЕО», Санкт-Петербург;

Изучение магнитных свойств и магнитоминералогического состава глыбово-агломератовых зювитов Карской астроблемы представляет интерес с нескольких точек зрения.

Во-первых, импактные породы не часто попадают в поле зрения палеомагнитологов. Именно такими породами являются эювиты и тагамиты. Зювиты – импактные аллогенные брекчии с несортированными по размерам и неокатанными обломками, с содержанием более 10-15% стекол плавления. По структуре они сходны с вулканическими туфами. Установить генезис брекчированных пород позволяет прежде всего тот факт, что импактные образования от земных пород отличаются наличием признаков шок-метаморфизма, который может возникать только при мгновенном и резком изменении температуры и давления, обусловленных взрывом. Резкая смена условий приводит к новообразованиям среди горных пород. Воздействие шок-метаморфизма, что важно с палеомагнитной точки зрения, должно обеспечивать приобретение породами естественной остаточной намагниченности совозрастной импактному событию, предположительно термоостаточной природы, но при этом приводит к глубинным изменениям минерального состава пород, что вызывает необходимость тщательнейшего исследования химического и фазового состава магнитной фракции исследуемых образцов.

Во-вторых, возраст Карской астроблемы, определенной как граница мел-палеоген (граница мезозоя и кайнозоя, К/Т), относится к интереснейшему периоду истории Земли. Считается, что эта граница (65-67 млн. лет) ярко отразилась в крупных поверхностных и приповерхностных явлениях, таких как существенное вымирание биоты, мощная плюмовая магматическая активность, импактные явления, повышение магнитной восприимчивости океанских и морских отложений и др. Все вышеперечисленные явления могут быть (возможно, должны быть) взаимосвязаны и, более того, могут быть обусловлены одной причиной. Накопление данных о поведении магнитного поля Земли в этот период является важнейшим источником информации для понимания причин наблюдаемых особенностей, описания сценариев происшедших явлений.

Отличительной чертой глыбово-агломератовых зювитов является плохое перемешивание материала и низкая степень его сортировки. Основная масса имеет состав от алеврито-углинистого или кремнисто-глинистого до стекловатого и почти повсеместно хлоритизирована и пиритизирована, иногда ожелезнена [1]. Широко распространенные в глыбово-агломератовых зювитах импактные стекла образуют обломки, не несущие признаков раскристаллизации. В работе [2] описаны камасит, пирит и пирротин, встречающиеся в зювитах Карской астроблемы. При этом полагается, что все минералы железа в импактитах астроблемы кристаллизовались из импактного расплава, обогащенного никелем за счет вещества метеорита-ударника. В докристаллизационную стадию развития расплава имела место ликвидация импактного расплава на рудную и силикатную жидкости. Показано [3], что состав импактитов кратера соответствует среднему составу пермских пород мишени (песчаники, алевролиты, глинистые сланцы), мощность которых составляет 2,0-2,5 км. Спектральные анализы [4] позволили установить, что импактиты обогащены Ni, Co, Cr, по мнению авторов, характерными элементами космических тел, при падении которых возник Карский кратер.

Палеомагнитное исследование Карских импактитов представлено лишь одной публикацией. Так, в работе [5] исследовались всего 10 ориентированных образцов, представленных зювитами, содержащими большое количество стекла, и тагамитами. Исследования показали, что импактиты содержат главным образом намагниченность прямой полярности, которая наиболее интенсивна в зювитах. Однако естественная остаточная намагниченность двух образцов тагамитов производит впечатление смешанной с присутствием намагниченности обратной полярности. Направление выделенной компоненты прямой полярности близко направлению современного геомагнитного поля, с одной стороны. С другой стороны, наши исследования показывают однокомпонентный состав намагниченности прямой полярности, ее высокую стабильность, термоостаточную природу на основе метода Вилсона и полевых тестов складки, конгломератов и обожженного контакта и, таким образом, доказывают ее древний возраст. Тогда полученное направление может быть результатом тектонических движений, виртуального характера намагниченности или других причин.

В комплекс наших исследований входили следующие виды анализа: изучение аншлифов самих пород и магнитных фракций опико-микроскопическими и электронно-микроскопическими методами, определение химического состава минералов с помощью микрозондового анализа; проведение термомагнитного анализа намагниченности насыщения и магнитной восприимчивости; определение природы естественной остаточной намагниченности по методу Вилсона-Буракова.

Магнитные фракции изучались в ГО «Борок» с использованием оптического микроскопа "Olympus BX 51" и микрозонда «Тескан Vega II». Исследования аншлифов проводилось в «Междисциплинарном

ресурсном центре по направлению «Нанотехнологии» СПбГУ. Использовались стерео микроскоп Zeiss Axio Imager и сканирующий электронный микроскоп Zeiss Supra 40VP с дополнительной системой энергодисперсионного рентгеновского микроанализа Oxford Instruments INCAx-act.

На Рис. 1 представлены результаты изучения магнитоминералогического состава образцов зювитов. Выявлен сложный фазовый состав железосодержащих минералов: сульфиды различного генезиса, магнитные и немагнитные (пирит, пирротин); самородные элементы (железо, никель, их агрегаты с различными примесями, никелин NiAs); мелкие субмикронные зерна магнетита, включая магнетитовые сферулы; частицы с тонкими структурами распада твердых растворов титаномагнетитового ряда (с распадом и перекристаллизацией первично магматических титаномагнетитов, ильменитов и гемильменитов); иные минеральные агрегаты (барит, алюмосиликатные сферулы). Также методами микроскопии выявлено наличие рутила, гематита, лимонита, гётита, перекристаллизованного графита.

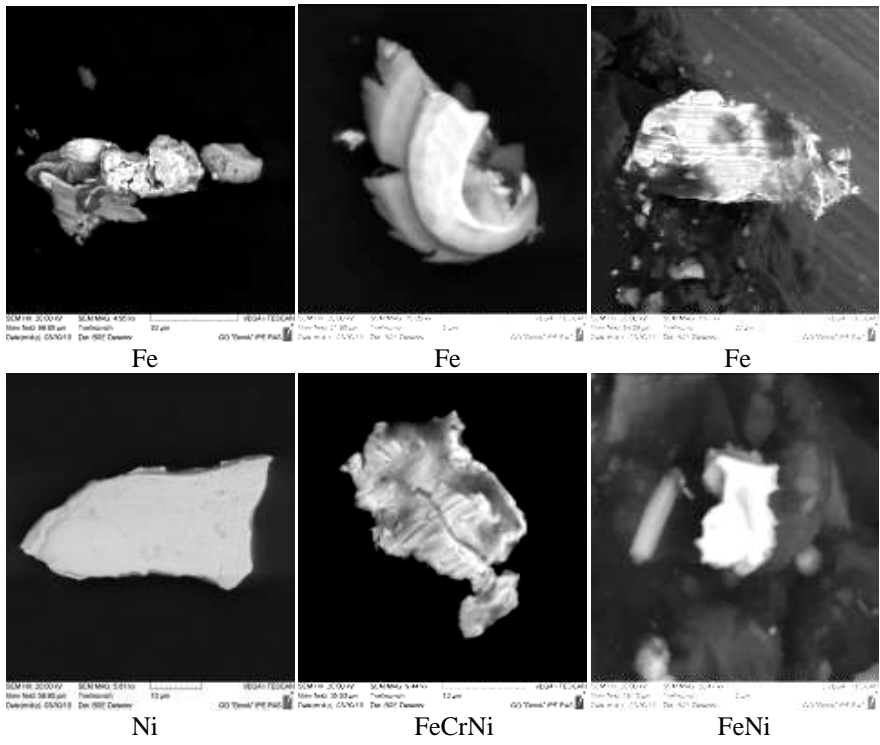
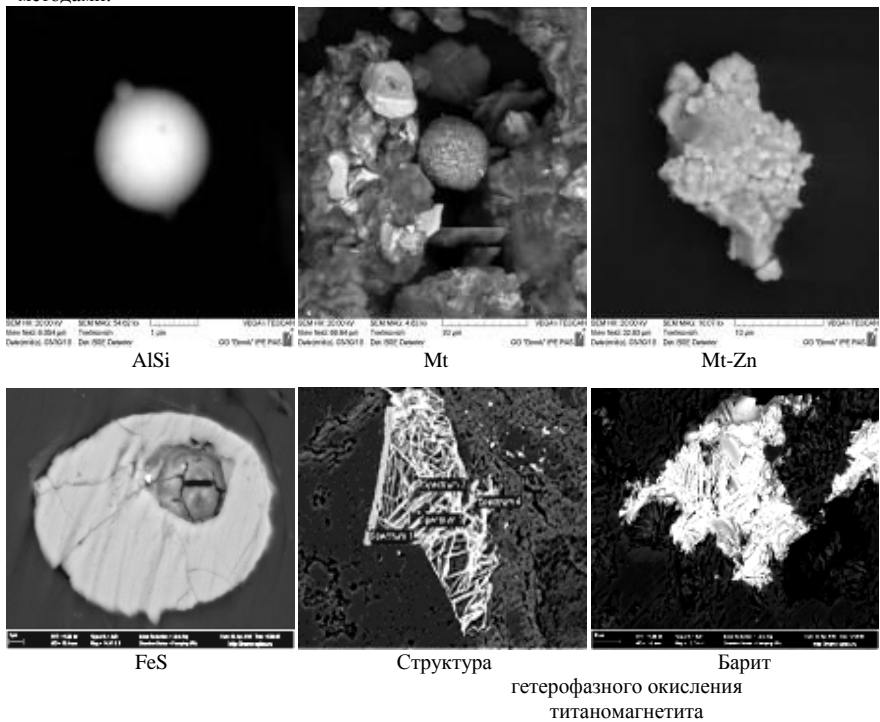
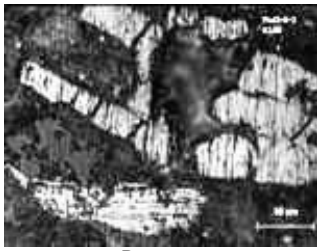


Рис. 1 (начало). Фотографии, полученные при исследовании образцов опико-микроскопическими и электронно-микроскопическими методами.





Рутил



Структура гетерофазного окисления титаномагнетита

Рис. 1 (конец). Фотографии, полученные при исследовании образцов оптико-микроскопическими и электронно-микроскопическими методами.

По результатам термомагнитного анализа выявлено наличие нескольких типов «поведения» зависимостей намагниченности насыщения и магнитной восприимчивости от температуры. Изучаемая коллекция зювитов может быть условно разделена на две части: 1) с преобладанием магнетитовой-титаномагнетитовой фазы и 2) с преобладанием сульфидов. Данные анализа по методу Вилсона-Буракова показывают, что первые несут остаточную намагниченность термоостаточной природы, которая может быть синхронной образованию зювитов, т.е. соответствовать моменту импактного события.

На рисунках 2-4 приведены характерные результаты термомагнитного анализа и данные сравнения разрушения естественной остаточной и лабораторной термоостаточной намагниченностей. Везде сплошная кривая – нагрев, пунктирная – охлаждение.

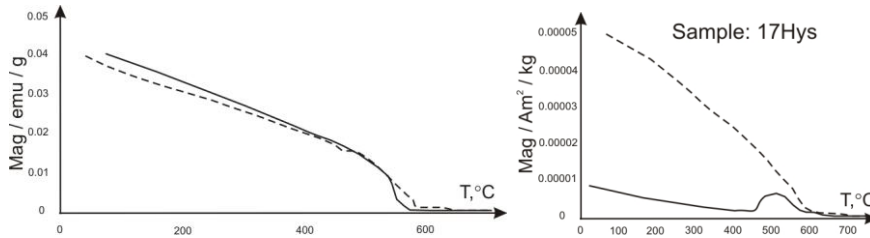


Рис. 2. Зависимость J_s от температуры в процессе нагрев-охлаждение в интервале температур 20-700°C.

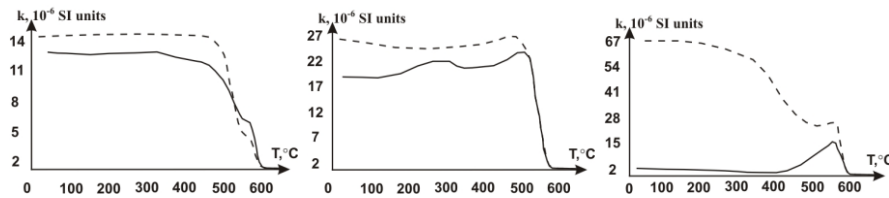


Рис. 3. Зависимость магнитной восприимчивости от температуры в процессе нагрев-охлаждение в интервале температур 20-700°C.

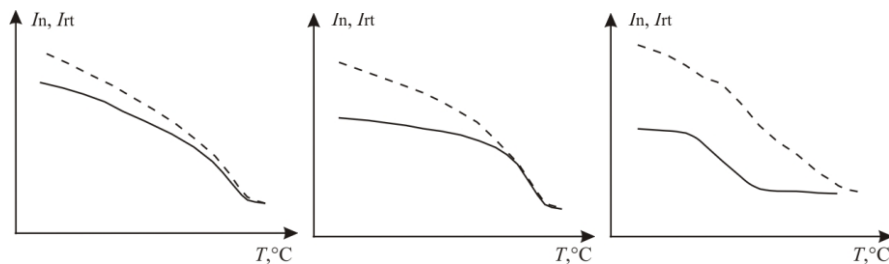


Рис. 4. Сравнение кривых разрушения TRM и NRM по методу Вильсона.

По результатам выполненных исследований можно сделать следующие выводы:

- Естественная остаточная намагниченность зювитов Карской астроблемы может иметь термоостаточную природу. Показано наличие нескольких видов носителей остаточной намагниченности. Появление «особых» точек на термокривых может быть объяснено присутствием сульфидной, титаномагнетитовой, магнетитовой фаз. Это же подтверждено комплексом оптико-микроскопических и электронно-микроскопических исследований с применением микрозондового анализа аншлифов и мономинеральных фракций.
- Среди выделенных для микрозондовых исследований магнитных частиц присутствуют минералы, состав которых можно отнести к минералам космического происхождения (самородные железо и никель, их сплавы, сплав никель-хром-железо, космические магнетитовые шарики и др.), аналогично [6-10], где исследовался разрез Гамс (Восточные Альпы), известный как типичный представитель границы мел-

палеоген. Эти частицы не подвергались химическим изменениям и надежно сохранили палеомагнитный сигнал.

- Зювиты, с точки зрения палеомагнитных приложений – перспективный, но в то же время очень сложный объект. С одной стороны, специфическое для этих пород разнообразие магнитного материала и в высшей степени неоднородное его распределение предопределяют необходимость тщательнейшего исследования магнитных свойств и состава буквально каждого образца. С другой стороны, этот вид горных пород может нести очень стабильную во времени намагниченность термоостаточной природы.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект 10-05-00117а.

1. Импактные кратеры на рубеже мезозоя и кайнозоя. Сборник статей под ред. В.Л. Масайтиса. Ленинград. Наука. 1990. 191 с.
2. *Фельдман В.И., Сазонова Л.В., Гужова А.В.* Акцессорные минералы железа в импактитах Карской Астроблемы (Пай-Хой). Докл. АН СССР. 1988, Vol.301, No.5, С.1191-1194
3. *Masaitis V.L., Mashchak M.S., Selivanovskaya T.V.* Parameters of excavation and melting zones of Kara crater. Lunar and Planet. Sci. - Houston (Tex.), 1989. - Vol. 20: 20th Conf., March 13-17. Abstr. Pap., P. 622-623
4. *Селивановская Т.В., Мацук М.С., Масайтис В.Л.* Импактные брекчии и импактиты Карской и Усть-Карской астроблем. Импактные кратеры на рубеже мезозоя и кайнозоя. 1990. Л., С. 55-96
5. *Badjukov B.D., Bazhenov M.L., Nazarov M.A.* Paleomagnetism of impactites of the Kara impact crater: Preliminary results. Lunar and Planet. Sci. - Houston (Tex.), 1989. - Vol. 20: 20th Conf., March 17-17, 1989: Abstr. Pap., P. 34-35
6. *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.
7. *Tsel'movich V.A., Grachev A.F., Korchagin O.A.* The first finds of silica glass from the Cretaceous-Paleogene (K/T) boundary clay layer in the Gams stratigraphic sequence, Eastern Alps // International Conference «100 years since Tunguska phenomenon: past, presents and future. June 26-28, Moscow. Moscow, 2008 P.221-222.
8. *Грачев А.Ф., Печерский Д.М., Борисовский С.Е., Цельмович В.А.* Магнитные минералы в осадках на границе мела и палеогена (разрез Гамс, Восточные Альпы) // Физика Земли. 2008. №10. С. 1-16.
9. *Grachev A. F., Borisovsky S. E., and Tsel'movich V. A.* Minerals of the Transitional Layer in Gams Sections. Chapter 4. // The K/T boundary of Gams (Eastern Alps, Austria) and the nature of terminal Cretaceous mass extinction. // Workshop "Rapid Environmental/Climate Changes and Catastrophic Events in Late Cretaceous and Early Paleogene". Gams bei Hieflau (Styria). April 24-28, 2009. Editor: Andrey F. Grachev. Geologische Bundesanstalt. 2009. Band 63. DOI: 10.2205/2009-GAMSbook. P.59-88.
10. *Grachev A. F., Korchagin O. A., and Tsel'movich V. A.* Cosmic Dust and Micrometeorites: Morphology and Chemical Composition Chapter 6. // The K/T boundary of Gams (Eastern Alps, Austria) and the nature of terminal Cretaceous mass extinction. // Workshop "Rapid Environmental/Climate Changes and Catastrophic Events in Late Cretaceous and Early Paleogene". Gams bei Hieflau (Styria). April 24-28, 2009. Editor: Andrey F. Grachev. Geologische Bundesanstalt. 2009. Band 63. DOI: 10.2205/2009-GAMSbook. P. 135-146.