РАЗДЕЛ XII. ГЕОЛОГИЯ

Савва Н.Е., Минюк П.С., Субботникова Т.В.

Экзотическая находка силицида железа в зоне пролета Тунгусского метеорита и Витимского болида

ФГБУ Северо-Восточный комплексный НИИ им. Н.А. Шило Дальневосточного
отделения Российской Академии Наук
(Россия, Магадан)

doi: 10.18411/scienceconf-09-2019-28

idsp: scienceconf-09-2019-28

Аннотация

Найденное охотниками металлическое тело в тайге Забайкальского края, (Россия), имеет признаки плавления и кипения на поверхности и названо по ближайшему ручью «Илект». Изучен состав и магнитные свойства «Илекты». Основная масса сложена силицидом железа – гупейитом и вкраплениями игольчатого рабдита. В расплавленной коре эвтектика – шрейберзит-гупейит и кристаллы карбида титана. Магнитная восприимчивость образцов не однородная ($286,6\text{--}461,8 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{кг}$).

Abstract

The metal body found by hunters in the taiga of the Zabaikalsky region (Russia), has signs of melting and boiling on the surface and is named on the nearest stream "Ilekt". The composition and magnetic properties of Ilekt have been studied. The bulk is composed of iron silicid - gupeite and inflections of needle rabdite. In the molten crust of eutecica - shreiberzite- gupeite and titanium carbide crystals. Magnetic susceptibility of samples is not homogeneous ($286.6\text{--}461.8 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{kg}$).

Образец, названный «ИЛЭКТА», случайно обнаружен охотниками села Кыкер, Тунгокоченского района, Забайкальского края на правом берегу реки Нерча в среднем ее течении. Координаты места находки: $53^{\circ} 19' \text{ С.Ш.}$, $116^{\circ} 19' \text{ В.Д.}$ в 25 км. ниже устья р.Нерчуган, вблизи устья ручья Илект правого притока р.Нерча (рис.1).

Рис.1. Место падения тела «Илект»: А – траектории пролета Витимского болида и Тунгусского метеорита; пунктирным кругом показано место находки «Илект»; Б – детализация места находки.

Образец обнаружен на слабо заболоченной поверхности надпойменной террасы в небольшой воронке 0,3-0,5 м. Охотник Дунаев Николай сразу же обратил внимание на округлую форму камня, его ямчатую поверхность, большой вес (12кг.), оплавленность поверхности, высокую магнитность и металлическость основной массы на свежем сколе (рис. 2).

Ближайшими поселениями к месту находки образца являются с.Кыкер и с.Зеленое Озеро. В с.Кыкер со дня его основания (1668г.) по настоящее время нет вообще никакой промышленности, тем более металлургической. В с.Зеленое Озеро проживает 60 человек потомственных охотников, занимающихся только охотопромыслом.

Рис. 2. Вид образца «ИЛЭКТА» на месте находки в различных ракурсах (фото одного из охотников – Геннадия Порфирьевича.Берзина)

Тело имеет металлический облик (металлический блеск), окатанную и окисленную поверхность. Оно представляет собой небольшой валун размером в длину 15 см высота 9 см (рис. 2а), ширина изменчивая от 8 см до 1 см – клиновидная на одном конце, в целом напоминающее большую каплю (рис. 2 б, г). На поверхности и внутренней части скола имеются следы плавления и кипения (рис. 2в). Важно отметить, что железисто-глинистая корка бурого цвета толщиной 1-4 мм на поверхности образца состоит из оксидов и может содержать вещества Земного происхождения, так как тело находилось в воронке и соприкасалось с водой и кислородом воздуха. Толщина «коры окисления» указывает на то, что тело пролежало на речной террасе относительно длительный период, а глинистая корка покрывает только одну его сторону, обращенную вверх. Силицид железа, слагающий основную массу, устойчив к окислению.

Обращают на себя внимание пластические деформации, полученные предположительно в горячем состоянии, и хрупкие – в процессе остывания.

Рис. 3. Пластические (а) и хрупкие (б) деформации в теле образца (отполированная поверхность среза в отраженном свете)

Для изучения вещества объекта «Илект» Н.П. Берзин прислал авторам статьи три фрагмента образца размером 1,5 x 2,0 x 5,0 см, из которых было изготовлено три полированных препарата. Изучение оптических свойств выполнялось под микроскопом AXIOPLAN IMAGIN. Состав определялся микро-рентгеноспектральным анализатором CAMEBAX с приставкой INCA (Oxford). Структурное травление выполнено концентрированной соляной кислотой. Измерения магнитной восприимчивости (k , МВ) и исследование ее при высоких температурах (k -Т) проведены на многофункциональном каппаметре MFK1-FA с термоприставкой CS-3 (AGICO Ltd.). Скорость нагрева и остывания составляла около 12–13°C/мин, максимальная температура нагрева – 700°C, Прогрев выполнен в аргоновой среде. Гистерезисные параметры, включая остаточную намагниченность насыщения (J_{rs}), намагниченность насыщения (J_s), индуктивную намагниченность (J_i), коэрцитивную силу (H_c), остаточную коэрцитивную силу (H_{cr}), измерены на автоматическом коэрцитиметре J-meter. Максимальная индукция поля составляла 500 мТл. Термомагнитный анализ (J_s -Т) выполнен на магнитных весах в поле индукции 500 мТл.

Комплексом методов выявлено несколько минеральных фаз с различными оптическими свойствами. Основная матрица – силицид железа – гупейт Fe_3Si , трапециевидные в срезе кристаллические включения представлены карбидом титана (до 68.5 мас.% Ti), в эвтектическом расплаве присутствуют также шрейберзит – фосфид железа, а в массе силицида железа отмечаются включения игольчатых кристаллов рабдита (рис. 4).

Рис. 4. Минеральные фазы «Илекты» в отраженном свете: а – эвтектический распад гупейта с шрейберзитом и игольчатые кристаллы рабдита в гупейте (поверхность протравлена HCl); б – кристаллы карбида Ti в гупейте.

Состав минеральных фаз Илекты приведен в таблице 1 и подтвержден растровым сканированием в характеристических рентгеновских лучах (рис. 5).

Рис. 5. Распределение минеральных фаз в характеристическом рентгеновском излучении

Таблица 1
Результаты микро-рентгеноспектрального анализа различных фаз образца «Илекта»
вскрытых на срезах, мас. %

Si	P	Ti	Cr	Mn	Fe	Σ
Шрейберзит (Fe, Mn) ₃ P						
6.62	15.27	1.79	0.51	5.24	73.53	102.96
7.53	13.79	0.63	0.41	5.28	74.83	102.47
6.99	14.60	0.72	0.40	5.15	75.38	103.24
7.29	14.23	0.58	0.36	5.00	75.65	103.11
Гупейит Fe ₃ Si						
15.35	0.42			1.09	86.57	103.43
15.54				1.23	86.87	103.63
15.38		1.17			85.48	102.03
15.40		1.25			85.60	102.24
15.49		1.19			85.33	102.01
15.30		1.13			85.52	101.96
15.54				1.15	85.73	102.42
14.97	0.32			1.13	82.50	98.91
14.68	0.32			1.17	81.60	97.77
14.63	0.30			1.06	83.78	99.76
15.54				1.15	85.73	102.42
Карбид титана? TiC						
		68.50			2.70	71.20
0.26	0.56	65.90	1.86	0.17	3.82	72.58
30.25	4.35	47.48	0.80			90.44

Углеродное напыление, поэтому углерод исключен из анализа.
САМЕВАХ, СВКНИИ ДВО РАН, аналитик Т.В. Субботникова.

Магнитная восприимчивость образцов не однородная ($286,6\text{--}461,8 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{кг}$). Более высокая магнитная восприимчивость отмечена для обр. 1, где она по величине в 1,5 раз превышает МВ других образцов (табл.2)

Таблица 2

Магнитные свойства образца «Илект»

№ образца	Вес, г	Магнитная восприимчивость, $\text{м}^3/\text{кг}$
1 – внутренняя часть фрагмента	7,40	461.8E-06
2 – средняя часть	2,79	286.6E-06
3 – средняя часть	2,73	294.1E-06
4 – внешняя часть фрагмента	25,28	300.1E-06

На кривых термокаппаметрии (k-T), полученных в процессе нагрева порошка в аргоновой среде, основной спад магнитной восприимчивости происходит при температуре около 560°C (рис. 6а). Более отчетливо эта температура выражена на кривых остывания, которые расположены выше кривых нагрева. Эта температура соответствует точке Кюри Fe_3Si , которая составляет обычно $566.8\text{--}576.85^\circ\text{C}$ (Овчинников и др., 2016). На кривых нагрева проявляется слабый перегиб при температуре $\sim 470^\circ\text{C}$, возможно, связанный с фосфидом железа (шрейберзитом). Безникелевый шрейберзит фульгурита Колымский имеет точку Кюри $\sim 440^\circ\text{C}$ (Пляшкевич и др., 2016).

а)

б)

в)

Рис. 6. Магнитные свойства образца «Илекта»: а - Кривые термокаппаметрии, полученные в аргоновой среде; б - Кривые термокаппаметрии, полученные в воздушной среде; в – зависимость намагниченности насыщения от температуры (нижняя часть графиков – дифференциальные кривые)

Термомагнитный анализ образцов, выполненный на магнитных весах, показывает во многом схожие результаты. На кривых нагрева намагниченности насыщения от температуры (J_s-T) отчетливо выделяется перегиб в области температуры 560°C. Эксперимент выполнен в воздушной среде. В процессе второго нагрева температура основного спада намагниченности смещается к 620°C (рис. 6 в, слева), а при 3-м и 4-м нагревах – к 650°C и выше (рис. 6, справа).

Параметры магнитного гистерезиса, полученные до нагрева и после нагрева образца, показывают, что структура магнитного вещества многодоменная – отношения $J_{rs}/J_s = 0,02$, $B_{cr}/B_c = 8$ (табл. 3). После прогрева величины намагниченности насыщения и остаточной намагниченности насыщения уменьшаются, в то время как коэрцитивная сила и остаточная коэрцитивная сила увеличиваются. (табл. 3). Новообразованный минерал более магнитожесткий.

Таблица 3

Данные магнитного гистерезиса образца «Илекта»

Образец	J_r , Ам2/кг	J_s , Ам2/кг	B_{cr} , мТл	B_c , мТл	J_r/J_i	B_{cr}/B_c
До нагрева	1,86E+00	7,99E+01	9,6	1,2	2,33E-02	8
После нагрева	8,23E-01	2,80E+01	15,3	15,3	2,94E-02	1

Точка Кюри минерала (650°C) близкая к гематитовой, однако магнитные параметры его отличаются от гематитовых. Во-первых, если бы весь окисленный минерал соответствовал гематиту, то его намагниченность насыщения была бы в сотни раз ниже таковой не нагретого образца. Величины B_{cr} и B_c также должны быть выше. По данным (Peters, Dekkers, 2003) средние значения B_{cr} и B_c для гематита составляют 318 мТл и 268 мТл, соответственно.

Таким образом, предварительное изучение показало, что основная масса тела «Илекта» представляет собой силицид железа – соединение железа с кремнием – своего рода аномальное вещество, которое само собой на Земле возникнуть не может. Здесь железо предпочитает реагировать с кислородом воздуха и образовывать окислы. Силицид железа может возникнуть в среде, лишенной кислорода. Например, где-нибудь в космосе. Но и такое событие ученые считают экстраординарным. Не верят даже в то, что на Землю могут иной раз падать метеориты из силицида железа.

Тем не менее, этот материал находят. Так, кусок силицида железа размером 65 x 22 x 10 мм, был выкопан при рытье траншеи на территории Черниговского архитектурно-исторического заповедника в сентябре 1982 года. Он представлял собой фрагмент некогда существовавшего более крупного эллипсоидного тела.

Искусственное получение такой массы гупейита в земных условиях невозможно. Только при взаимодействии атомов железа с поверхностью кремния в высоком вакууме 10^{-7} Па образуется ряд стабильных и метастабильных соединений. И это как правило пленки, растущие со скоростью 0,16 нм/мин. Среди них стабильные силициды железа – Fe_3Si , e-FeSi , g-FeSi_2 (Тарасов и др., 2014).

Основная часть тела «Илекта» хранится у Березина Геннадия Парфентьевича. Адрес: 672522, Забайкальский край, Читинский р-он, пос. Ингода, ул. Линейная, 12 Тел. 8-302-2-37-32-22 и 8-924-508-22-79.

1. Овчинников С.Г., Варнаков С.Н., Лященко С.А., Тарасов И.А., Яковлев И.А., Попов Е.А., Жарков С.М., Великанов Д.А., Тарасов А.С., Жандун В.С., Замкова Н.Г. Наноструктуры ферромагнитный металл/полупроводник на основе силицидов железа // Физика твердого тела. 2016. Т. 58. Вып. 11. С. 2195–2199).
2. Тарасов И. А., Попов З. И., Варнаков С. Н., Молокеев М. С., Федоров А. С., Яковлев И. А., Федоров Д. А., Овчинников С. Г. Оптические свойства эпитаксиальной пленки силицида железа $\text{Fe}_3\text{Si}/\text{Si}(111)$ // Письма в ЖЭТФ. 2014. Т. 99. Вып. 10. С. 651–655.
3. Пляшкевич А. А., Минюк П. С., Субботникова Т. В., Альшевский А. В.. Новообразованные минералы системы Fe-P-S в фульгурите Колымский // ДАН. 2016. Т. 467, № 5. С. 576–579.
4. Peters C., Dekkers M.J. Selected room temperature magnetic parameters as a function of mineralogy, concentration and grain size // Physics and Chemistry of the Earth. 2003. V. 28. P. 659–667