

ИНФОРМАТИВНОСТЬ ТЕРМОМАГНИТНОГО АНАЛИЗА ПРИ ИССЛЕДОВАНИЯХ ПИКРОИЛЬМЕНИТОВ

Ш.З. Ибрагимов, С.Г. Мишенин*

Казанский государственный университет, 420111, Казань, ул. Кремлевская, 18, Россия

** Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, 630090, Новосибирск, просп. Коптюга, 3, Россия*

Проведено исследование образцов пикроильменитов из пяти кимберлитовых трубок Якутской алмазоносной провинции. По каждому образцу по двум взаимно-перпендикулярным профилям проведены точечные микрозондовые определения с целью изучения неоднородности состава пикроильменита, а также зарегистрированы термомагнитные кривые. На основании зависимости температуры Кюри пикроильменита от содержания гематитового минала предложена модель обработки кривых термомагнитного анализа. Показано, что результаты определения состава по термомагнитным кривым и по данным микрозондового анализа имеют неплохую сходимость. Сделаны выводы о возможности использования данных термомагнитного анализа для экспрессного определения состава пикроильменитов, показаны возможности и ограничения предлагаемой методики.

Пикроильменит, термомагнитный анализ, кимберлит, температура Кюри.

APPLICATION OF THERMOMAGNETIC ANALYSIS TO PICOILMENITE INVESTIGATION

Sh.Z. Ibragimov and S.G. Mishenin

Picroilmenite samples from five kimberlite pipes of the Yakutian kimberlite province have been studied. Dot microprobe analyses of two mutually perpendicular profiles of each sample were carried out to study the compositional inhomogeneity of picroilmenite. Thermomagnetic curves were also recorded for each sample. A model for the processing of thermomagnetic curves is proposed on the basis of the relationship between the Curie point of picroilmenite and the content of the hematite end-member. The compositions determined by the thermomagnetic curves and microprobe analysis are rather similar. The conclusion has been drawn that thermomagnetic analysis can be used for the rapid determination of the picroilmenite composition. The potentialities and restrictions of this method are shown.

Picroilmenite, thermomagnetic analysis, kimberlite, Curie point

ВВЕДЕНИЕ

Ильменит с содержанием MgO выше 9 мас.% принято называть пикроильменитом [Гаранин и др., 1984], который относится к промежуточным членам изоморфной серии твердых растворов гематит—ильменит—гейкилит (Fe_2O_3 — FeTiO_3 — MgTiO_3) [Кудрявцева, 1988].

Пикроильмениты, наряду с пиропом и гранатом, относятся к наиболее характерным аксессуарным минералам кимберлитовых пород. В настоящее время обсуждаются три гипотезы о происхождении пикроильменита в кимберлитах [Алымова, 2006]: в результате кристаллизации в астеносферном слое мантии, дезинтеграции мантийных ксенолитов, кристаллизации из кимберлитового расплава.

Многие исследователи отмечают изменчивость состава пикроильменита в кимберлитовых трубках. В.К. Гаранин с соавторами [1984] показали, что мегакристаллиты разных алмазоносных провинций имеют различный состав. В работах [Алымова, 2006; Костровицкий и др., 2006] приводятся доказательства того, что близость состава зерен пикроильменитов из разных трубок одного куста и тождественный тип распределения основных оксидов свидетельствуют о формировании пикроильменитов из различных трубок за счет единого магматического очага.

Состав пикроильменита может изменяться и в одном зерне. Причиной этого являются: различные *PT*-условия при образовании пикроильменитов [Геншафт и др., 2000; Силаев и др., 2008]; распад первичного пикроильменита на зоны, обогащенные железом (близкие к гематиту) и близкие по составу к ильмениту (такая зональность, по мнению многих авторов, является довольно редкой [Гаранин и др., 1984; Силаев и др., 2008]); реакционные каймы полиминерального состава, в которых может образоваться также и вторичный ильменит [Геншафт, Илупин, 1982; Амшинский, Похиленко, 1983]. В реакционных каймах часто обнаруживаются различные шпинелиды, в частности, хромшпинелиды и титаномагнетиты [Гаранин, 1984; Геншафт и др., 2000; Костровицкий и др., 2006; Силаев и др., 2008].

Основным методом изучения пикроильменитов является микрозондовый анализ, который позволяет получать данные о составе пикроильменитов, исследовать фазовую неоднородность зерна и взаимоотношения минеральных фаз.

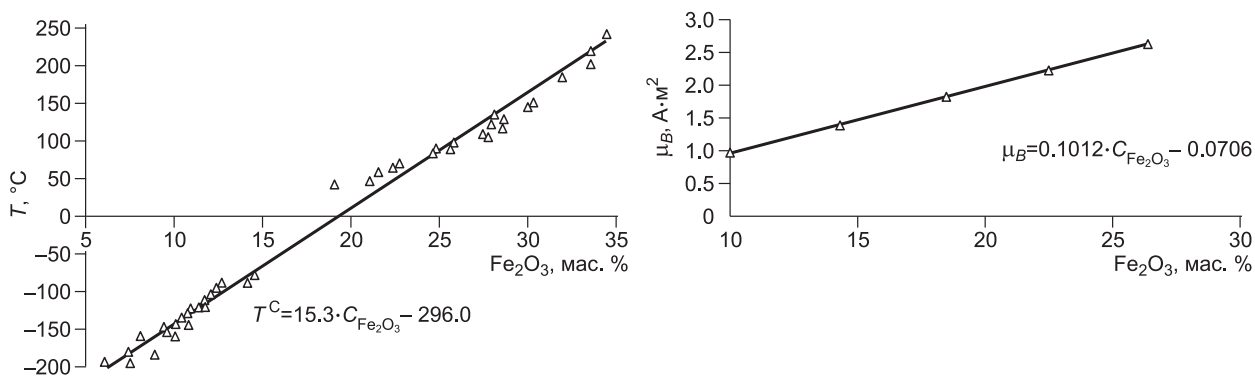


Рис. 1. Зависимости температуры Кюри и магнитного момента одной формульной единицы от содержания гематитовой компоненты в пикроильменитах [Гаранин и др., 1984, Кудрявцева, 1988].

Линиями и формулами показаны аппроксимации экспериментальных и расчетных значений соответственно, принятые в данной работе.

МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА ПИКРОИЛЬМЕНИТА

Исследованиям магнитных свойств пикроильменитов посвящен ряд работ [Колесников, 1970; Гаранин и др., 1984; Кудрявцева, 1988]. Г.П. Кудрявцева [1988] показала зависимость температуры Кюри пикроильменита от содержания гематитовой компоненты (рис. 1). Обобщая данные других авторов, она приводит сведения о том, что температура Кюри также зависит и от содержания гейкилитовой компоненты, особенно в интервале от 50 до 200 °С. Титаномагнетиты и хромшпинелиды, образующиеся в реакционных каймах, являются ферромагнетиками. Титаномагнетиты принадлежат к системе твердых растворов магнетит—ульвошпинель—магнезиальный аналог ульвошпинели ($Fe_3O_4—Fe_2TiO_4—Mg_2TiO_4$). Температура Кюри этого титаномагнетита варьирует в диапазоне 460—520 °С [Кудрявцева, 1988]. Хромшпинелиды относятся к промежуточным членам серии твердых растворов $MgAl_2O_4—Fe_2TiO_4—Mg_2TiO_4—FeCr_2O_4$ с температурой Кюри 450—510 °С, обладающих значительно более слабыми ферромагнитными свойствами по сравнению с титаномагнетитами [Кудрявцева, 1988].

Причины неоднозначного определения температуры Кюри пикроильменитов различного состава могут быть разные.

1. Непостоянство состава пикроильменита в одном зерне. Это может привести к тому, что за точку Кюри пикроильменита сложного состава будет принята температура той части зерна, у которой максимальная точка Кюри.

2. Состав зерна пикроильменита определяется микронзондовым анализом, который проводится на плоскости. Это снижает представительность анализа, потому что за счет неоднородности зерна на другой плоскости состав может быть несколько другим. При термомагнитном анализе (ТМА) измеряется магнитный момент всего зерна пикроильменита.

Сначала требуется показать, что изменения в составе зерна пикроильменита регистрируются на термомагнитных кривых, т. е. указать на информативность ТМА при исследованиях пикроильменита.

Для получения корректных данных о зависимости температуры Кюри от состава пикроильменита необходимо учесть вклад всех частей зерна пикроильменита различного состава в измеряемую зависимость магнитного момента зерна от температуры; набрать необходимую статистику для сопоставления данных о составе (микронзонд) и температурах Кюри пикроильменитов (ТМА).

Для учета вклада пикроильменита различного состава в измеряемую зависимость магнитного момента нами предложена модель, описание которой приводится ниже.

ОПИСАНИЕ МОДЕЛИ ТЕРМОМАГНИТНЫХ КРИВЫХ ПИКРОИЛЬМЕНИТОВ

В качестве первого приближения для моделирования термомагнитных кривых приняты зависимости магнитного момента формульной единицы (μ_B) и температуры Кюри (T^C) пикроильменитов от содержания гематитовой компоненты [Кудрявцева, 1988]. Для упрощения расчетов эти зависимости приняты линейными (см. рис. 1). Следовательно, каждый объем части зерна пикроильменита, в зависимости от состава, обладает индивидуальным магнитным моментом и температурой Кюри. Магнитный момент всего объема зерна пикроильменита является суммой магнитных моментов i -частей зерна. Таким образом, магнитный момент $M_\Sigma(T_j)$ образца при температуре T_j рассчитывается по формуле

$$M_{\Sigma}(T_j) = \sum_{i=1}^n M_i(T_j), \quad (1)$$

где n — количество объемов различного содержания гематитовой компоненты, которое определяется из предполагаемого распределения минала Fe_2O_3 в образце; M_i — магнитный момент при температуре T_j , обусловленный частью объема зерна i -состава.

Значение магнитного момента i -объема пикроильменита при температуре T_j рассчитывается следующим образом:

при температуре выше температуры Кюри пикроильменита i -состава ($T_j \geq T_i^C$), $M_i = 0$;
при $T_j \leq T_i^C$ расчет M_i производят по формуле

$$M_i = \mu_B^i \times a^i \times \exp(-b/(T_i^C - T_j)), \quad (2)$$

где μ_B^i — магнитный момент единицы объема i -состава пикроильменита при 0 К, a^i — коэффициент, характеризующий часть объема зерна пикроильменита, которую занимает пикроильменит i -состава, равный нормированному значению на гистограммах распределения гематитовой компоненты и определяемый из предполагаемого распределения минала Fe_2O_3 в образце. Выражение $\exp(-b/(T_i^C - T_j))$ определяет значение магнитного момента μ_B^i при температуре T_j [Ибрагимов и др., 1999], коэффициент b для всех компонент образцов принят равным 180. Это значение определено по 15 зернам пикроильменитов, для которых проведено микрозондовое исследование.

Анализируемый интервал содержания гематитовой компоненты образцов пикроильменитов составляет от 8 до 25 %. Нижний предел содержания определен исходя из того, что при содержании гематитовой компоненты ниже 8 % температура Кюри данной компоненты находится ниже -185 °С. В условиях эксперимента на установке дифференциального термомагнитного анализа (ДТМА) [Буров, Ясонов, 1979] такая температура практически недостижима.

Оценка предлагаемой модели проводится сопоставлением кривой $M_{\text{расч}}(T)$, рассчитанной с предполагаемым распределением гематитового минала в образце, с экспериментальной кривой $M_{\text{эксп}}(T)$. Введем функционал

$$\delta = \sqrt{\sum_{T_j=T_{\text{нач}}}^{T_{\text{кон}}} (M_{\text{расч}}(T_j) - M_{\text{эксп}}(T_j))^2}, \quad (3)$$

где $T_{\text{нач}}$ и $T_{\text{кон}}$ — начальная и конечная температуры экспериментальной кривой ТМА соответственно.

Минимум этого функционала определяет точность (погрешность) сопоставления расчетных и экспериментальных кривых.

В итоге, после достижения минимума функционала, получаем распределение гематитового минала в образце, которое характеризуется двумя величинами: средним значением и дисперсией (стандартным отклонением).

На рис. 2 показаны примеры моделирования термомагнитных кривых при различных значениях среднего и дисперсии нормального распределения гематитового минала. При одной и той же величине среднего колебание дисперсии распределения приводит к значимым изменениям термомагнитной кривой.

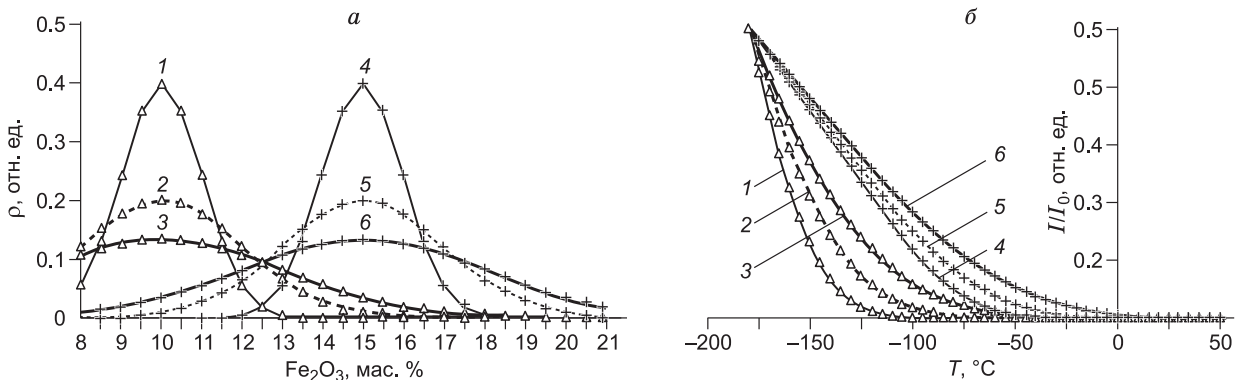


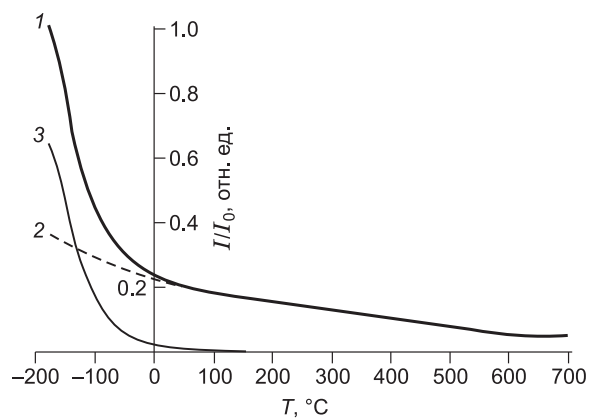
Рис. 2. Моделирование кривых ТМА при заданных параметрах содержания гематитовой компоненты в пикроильмените.

a — плотность нормального распределения (ρ) гематитовой компоненты при заданных различных значениях среднего и дисперсии, b — соответствующие модельные термомагнитные кривые — зависимости относительной намагниченности I/I_0 пикроильменита от температуры T , °С (I_0 — намагниченность при минимальной температуре).

Параметры распределения: 1 — среднее 10, дисперсия 1; 2 — среднее 10, дисперсия 2; 3 — среднее 10, дисперсия 3; 4 — среднее 15, дисперсия 1; 5 — среднее 15, дисперсия 2; 6 — среднее 15, дисперсия 3.

Рис. 3. Кривая ТМА образца пикроильменита из тр. Удачная с каолиновым наполнителем обр. Ud1-4 (1), кривая ТМА каолина (2), разностная кривая чистого пикроильменита (3).

Пояснения см. в тексте.



ОПИСАНИЕ ОБРАЗЦОВ И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ТЕРМОМАГНИТНОГО АНАЛИЗА

Для исследований были отобраны 15 образцов пикроильменитов из пяти различных кимберлитовых трубок (Айхал, Юбилейная, Удачная, Зарница и Заполярная) Далдыно-Алакитского и Мунского полей Якутской алмазоносной провинции.

Образцы отбирались под биноклем из керна скважин, пробуренных по кимберлитовым телам. Размер зерен пикроильменитов в тр. Айхал составлял менее 1.0 мм, а в остальных — от 1 до 1.5 мм в поперечнике. Зерна пикроильменитов из тр. Айхал отличаются от других и по морфологии. Если крупные зерна пикроильменитов представляют собой почти изометричные, округлые или овальные выделения, то пикроильмениты из тр. Айхал характеризуются удлинённой формой с раковистым изломом. По мнению авторов [Гаранин и др., 1984], подобные зерна образовались в результате разрушения более крупных зерен пикроильменитов.

Термомагнитные исследования пикроильменитов производились на установке ДТМА [Буров, Ясенов, 1979]. Для фиксации зерна пикроильменита в кварцевом держателе использовался в качестве напол-

Таблица 1. Результаты микрозондового анализа пикроильменитов

Образец	N	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	TiO ₂	MgO	ΣFeO	FeTiO ₃	MgTiO ₃	Fe ₂ O ₃
Aih 05-1	35	0.51	2.55	47.0	8.9	40.7	51.1	31.0	14.3
		0.003	0.003	0.13	0.30	0.19	4.8	2.5	0.6
Aih 05-7	38	0.55	1.14	48.1	9.2	40.9	51.8	32.0	13.9
		0.001	0.002	0.10	0.04	0.08	1.0	0.4	0.2
Ud1-3	50	0.63	0.80	47.9	9.9	39.0	49.4	34.8	13.7
		0.099	0.003	2.85	0.85	4.70	8.8	8.5	3.9
Ud1-4	16	0.53	0.96	48.5	9.1	40.6	53.0	31.6	13.2
		0.010	0.001	0.12	0.29	0.50	5.4	2.7	0.5
Ud 1-10	48	0.58	0.37	50.5	10.3	38.7	51.7	35.4	11.4
		0.047	0.001	0.33	0.09	0.15	2.8	0.8	0.7
Ub 105-2	39	0.51	1.83	50.0	10.4	37.7	50.2	35.8	11.2
		0.001	0.002	0.05	0.03	0.06	0.8	0.3	0.2
Ub 11-3	67	0.14	4.53	47.5	8.8	39.0	52.2	30.7	12.1
		0.001	0.006	0.13	0.12	0.08	2.8	1.1	0.5
Ub 11-8	91	0.66	1.22	50.6	11.6	34.7	47.7	40.1	9.8
		0.003	0.002	0.21	0.08	0.07	1.8	0.07	0.4
Zar1-1	70	0.59	0.88	47.2	9.0	41.3	51.5	31.5	14.9
		0.023	0.002	1.87	0.61	0.73	21.2	6.7	3.8
Zar1-2	51	0.56	0.49	49.8	10.1	39.1	51.6	34.7	12.1
		0.003	0.001	0.17	0.46	0.12	9.4	4.0	1.2
Zar1-3	34	0.55	0.86	48.0	9.2	41.4	51.6	32.0	14.5
		0.001	0.001	0.18	0.05	0.09	1.4	0.5	0.3
Zar1-8	72	0.55	0.86	48.1	9.2	41.3	51.7	32.0	14.4
		0.002	0.001	0.07	0.18	0.09	4.0	1.5	0.7
Zap1-3	53	0.85	0.16	49.3	9.5	39.6	53.3	33.0	12.1
		0.021	0.001	0.19	0.10	0.12	1.9	0.6	0.4
Zap1-10	49	0.53	0.90	45.7	7.5	44.3	54.6	26.7	16.7
		0.010	0.004	1.70	0.67	5.36	1.4	0.7	0.3
Zap1-12	78	0.70	3.96	53.4	14.8	27.0	49.6	40.2	5.30
		0.02	0.01	0.35	0.11	0.04	0.70	2.32	0.50

Примечание. N — количество анализируемых точек в зерне пикроильменита. Над чертой — среднее значение (%), под чертой — дисперсия нормального распределения.

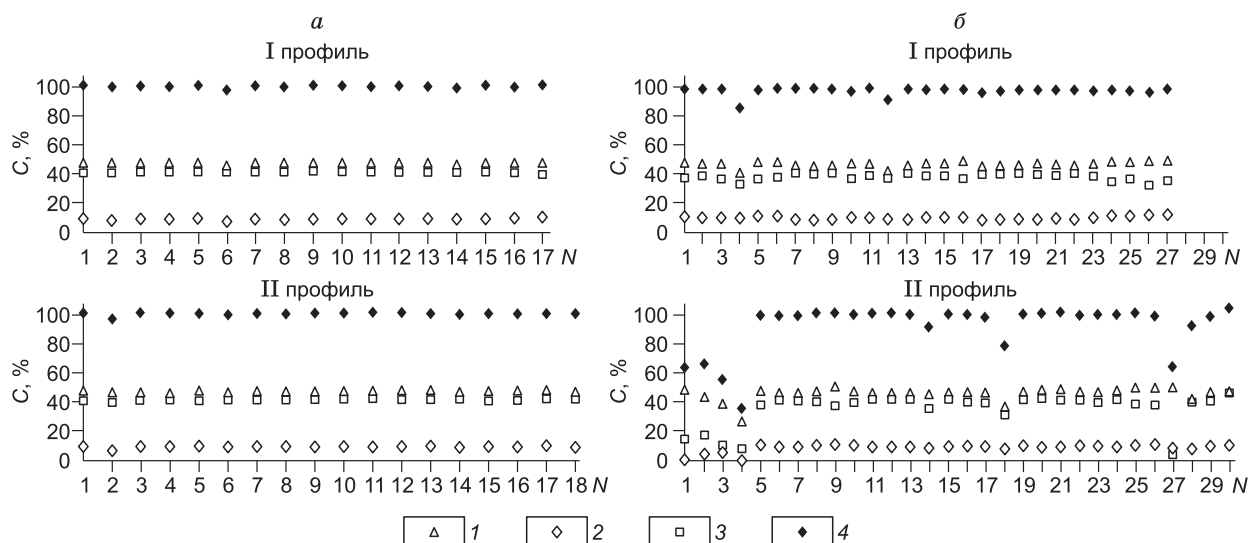


Рис. 4. Графики содержания (C , %) основных элементов (в виде простых оксидов) зерен пикроильменитов.

a — обр. Aih05-1, b — обр. Ud1-3. 1 — TiO_2 , 2 — MgO , 3 — FeO , 4 — сумма всех элементов (Ti, Mg, Fe, Al, Cr, Mn), по которым проведен микрозондовый анализ. N — номер точки зондирования.

нителю отожженный белый каолин (парамагнетик), т.е. проба более чем на 90 % объема состояла из каолина. Для разделения термомагнитных эффектов от парамагнитного каолина и зерна пикроильменита через пять образцов пикроильменитов регистрировалась кривая ТМА чистого каолина, измеренного при аналогичных условиях, что и образцы. При обработке кривых ТМА из термомагнитной кривой образца пикроильменита вычиталась соответствующая кривая ТМА каолина (рис. 3).

Для микрозондового анализа отбирались зерна, в которых на термомагнитных кривых отсутствовала шпинельная фаза. При наличии в образце феррошпинелей на намагниченность пикроильменитов накладывается намагниченность феррошпинелей, что снижает точность расчетов.

РЕЗУЛЬТАТЫ МИКРОЗОНДОВОГО АНАЛИЗА

Микрозондовый анализ образцов был выполнен в Центральной аналитической лаборатории ЗАО «АЛРОСА» (г. Мирный) на приборе «Superprobe JRA 8800R GEOL», аналитик А.С. Иванов.

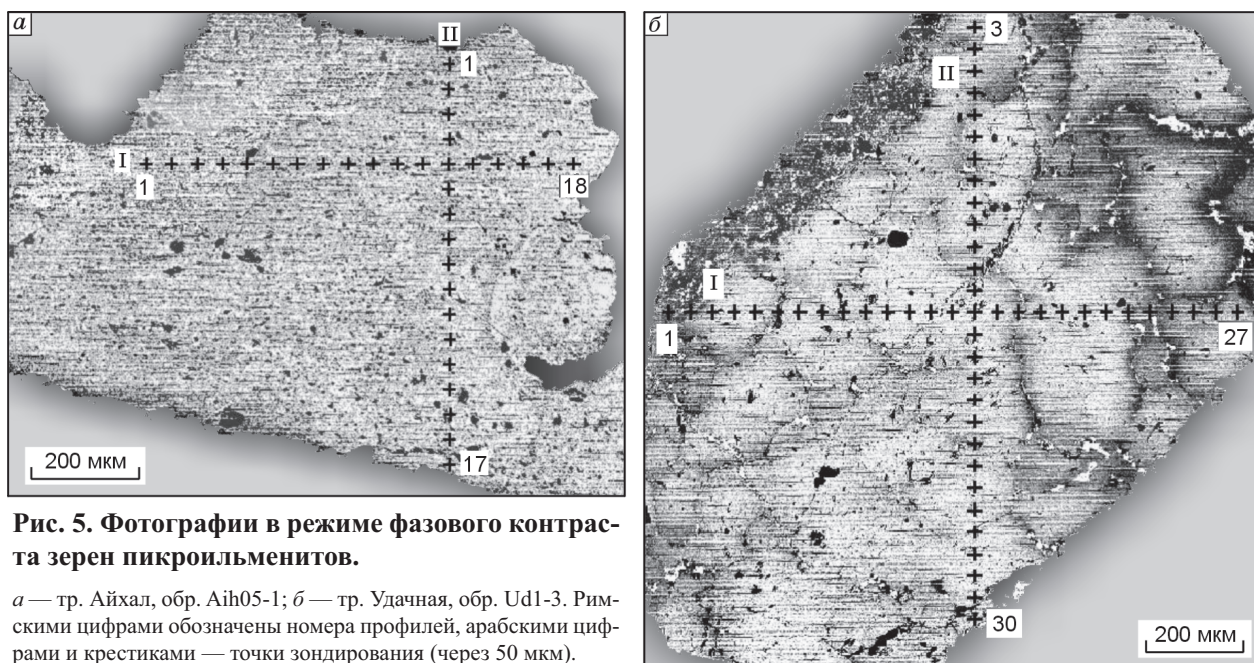


Рис. 5. Фотографии в режиме фазового контраста зерен пикроильменитов.

a — тр. Айхал, обр. Aih05-1; b — тр. Удачная, обр. Ud1-3. Римскими цифрами обозначены номера профилей, арабскими цифрами и крестиками — точки зондирования (через 50 мкм).

Таблица 2.

**Сопоставление результатов определения содержания гематитового минала
в пикроильменитах по данным микрозондового анализа и ТМА**

Образец	Микрозондовый анализ		Моделирование кривых ТМА					
			нормальное распределение			логнормальное распределение		
	Среднее, %	Станд. от- клон.	Среднее, %	Станд. отклон.	Погреш- ность, δ	Среднее, %	Станд. отклон.	Погреш- ность, δ
Aih 05-1	14.3	0.8	13.3	2.8	0.019	12.0	1.25	0.006
Aih 05-7	13.9	0.5	12.4	2.2	0.004	12.7	1.15	0.003
Ud1-3	13.1	2	12.2	2.8	0.020	11.1	1.24	0.007
Ud1-4	14.0	1.4	12.4	3.2	0.011	12.0	1.21	0.004
Ud1-10	11.6	0.9	14.0	1.1	0.140	14	1.26	0.120
Zap1-3	12.1	0.6	12.5	2.8	0.012	12.2	1.22	0.006
Zap1-10	16.5	1.6	16.0	1.3	0.015	15.5	1.10	0.014
Zap1-12	5.3	0.7	6.9	3.2	0.012	6.28	1.30	0.004
Ub 105-2	11.1	0.5	10.9	2.5	0.004	11.9	1.16	0.002
Ub 11-3	11.8	1.1	12.8	3.4	0.024	11.1	1.33	0.004
Ub 11-8	10	0.8	10.0	3.5	0.045	8.5	1.35	0.032
Zar1-1	14.8	1.9	14.0	1.1	0.140	14	1.26	0.120
Zar1-2	11.7	1.3	9.2	3.8	0.009	9.8	1.31	0.006
Zar1-3	14.5	0.6	15.0	2.3	0.007	15.5	1.16	0.004
Zar1-8	14.4	0.8	15.5	2.0	0.006	14.8	1.27	0.003

Примечание. Терромагнитный анализ пикроильменитов был выполнен в Палеомагнитной лаборатории КГУ (г. Казань) на приборе ДТМА, аналитик Ш.З. Ибрагимов.

По каждому из 15 образцов пикроильменитов были проведены точечные микрозондовые исследования с шагом 50 мкм по двум ортогональным профилям (табл. 1). Так как выборка данных микрозондового исследования незначительна, всего 15 образцов из различных трубок, анализ компонентного состава пикроильменитов в данной статье не проводится. Достаточно полные сведения о составе пикроильменитов различных кимберлитовых трубок приведены в работах [Соболев, 1980; Алымова, 2006; Костровицкий и др., 2006].

Среднее содержание TiO_2 , MgO и ΣFeO во всех образцах пикроильменитов колеблется в относительно узком диапазоне значений, однако в каждом образце он различается. У образца Aih05-1 (тр. Ай-хал) дисперсия нормального распределения не превышает 3 % (относительно среднего значения), у обр. Ud1-3 (тр. Удачная) дисперсия по этим элементам возрастает до 12 %. Неоднородность зерен пикроильменитов Ud1-3 и Aih05-1 хорошо иллюстрируется графиками содержания основных элементов (Ti, Fe, Mg) в точках зондирования (рис. 4). В отличие от обр. Ud1-3 состав пикроильменита обр. Aih05-1 в точках зондирования практически однороден (см. рис. 4, а). На графике элементного состава обр. Ud1-3 по II профилю наблюдаются точки зондирования, где суммарное содержание анализируемых элементов меньше 80 %. Очевидно, что оно не отвечает ни составу пикроильменита, ни составу феррошпинели и, вероятно, обусловлено наличием в зерне пикроильменита (в точках зондирования) породообразующих или иных минералов. Поэтому точки зондирования, где суммарное значение менее 80 %, из дальнейшего анализа исключались. На рис. 5 показаны фотографии в режиме фазового контраста образцов Aih05-1 и Ud1-3, где нанесены профили и точки зондирования. На фотографиях видно, что зерно пикроильменита Aih05-1 (см. рис. 5, а) более однородное, чем зерно Ud1-3 (см. рис. 5, б), в последнем наблюдается система трещин, где развиваются более светлые минералы.

Из значений в табл. 1 видно, что содержание ильменитового минала во всех образцах пикроильменитов примерно одинаково и составляет 50—53 %, вариации состава обеспечиваются изменением гейкилитовой и гематитовой компонент пикроильменита [Гаранин и др., 1984; Кудрявцева, 1988]. Интервал построения гистограмм содержания гематитовой компоненты по микрозондовому анализу и по расчетам моделирования кривых ТМА определяется исходя из того, что изменение состава гематитового минала на 0.5 % соответствует изменению температуры Кюри пикроильменита на 7 °C (см. рис. 1). Экспериментальные терромагнитные кривые образцов пикроильменитов дискретны по температуре с шагом 5 °C [Буров, Ясонов, 1979].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ОБРАЗЦОВ ПИКРОИЛЬМЕНИТОВ

Результаты обработки кривых ТМА образцов пикроильменитов по предложенной методике приведены в табл. 2. Расчет содержания гематитового минала по кривым ТМА проводился по нормальному и логнормальному распределению. Результаты моделирования и сопоставления модельных и экспериментальных кривых ТМА обр. Aih05-1 показаны на рис. 6. Получено хорошее согласие модельных кривых с экспериментальными кривыми ТМА. Кривые, рассчитанные по логнормальному распределению, имеют меньшую погрешность расчета по сравнению с кривыми, рассчитанными по нормальному распределению. Средние содержания гематитового минала пикроильменитов, полученные по микрозондовому анализу и рассчитанные по кривым ТМА, удовлетворительно совпадают. Однако значения стандартного отклонения распределения содержания гематитового минала по микрозондовому анализу у всех образцов значительно ниже, чем подобные данные, полученные по моделированию кривых ТМА. Такая систематическая погрешность, вероятно, обусловлена тем, что в основу моделирования положена зависимость значения температуры Кюри пикроильменита только от гематитового минала. Сравнивая значения дисперсии гематитового и гейкилитового миналов образцов по данным микрозондового анализа (см. табл. 1) со значениями стандартного отклонения по данным ТМА (логнормальное распределение) (см. табл. 2), можно отметить следующее: при минимальных значениях дисперсии и пониженных средних значениях гейкилитовой компоненты пикроильменитов наблюдаются минимальные значения стандартного отклонения и минимальные значения погрешности моделирования (образцы Aih05-7, Zap1-10, Ubl05-2 и Zar1-3).

В результате проведенных исследований установлена возможность определения состава пикроильменита на основе применения аналитического выражения (2) и показано, что использование только содержания гематитового минала как основного источника вариаций магнитных свойств пикроильменитов недостаточно для изучения изменчивости состава пикроильменитов, необходим учет содержания и гейкилитовой компоненты.

В ходе дальнейших исследований необходимо набрать достаточную статистику для построения новой, более точной, зависимости температуры Кюри пикроильменитов от содержания гематитового и гейкилитового миналов пикроильменитов.

Авторы выражают благодарность Н.П. Похиленко за высказанные пожелания при подготовке статьи и А.С. Иванову за помощь в проведении аналитических исследований.

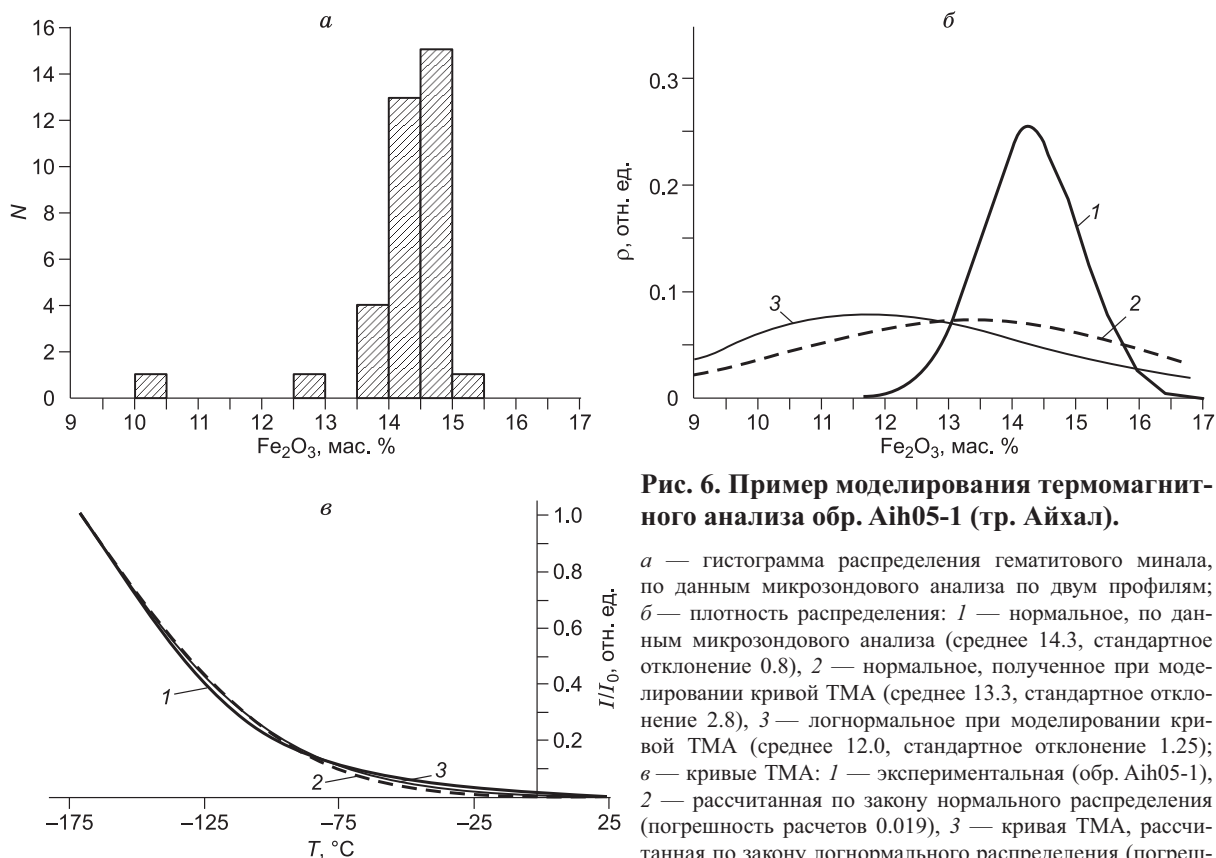


Рис. 6. Пример моделирования терромагнитного анализа обр. Aih05-1 (тр. Айхал).

а — гистограмма распределения гематитового минала, по данным микрозондового анализа по двум профилям; *б* — плотность распределения: 1 — нормальное, по данным микрозондового анализа (среднее 14.3, стандартное отклонение 0.8), 2 — нормальное, полученное при моделировании кривой ТМА (среднее 13.3, стандартное отклонение 2.8), 3 — логнормальное при моделировании кривой ТМА (среднее 12.0, стандартное отклонение 1.25); *в* — кривые ТМА: 1 — экспериментальная (обр. Aih05-1), 2 — рассчитанная по закону нормального распределения (погрешность расчетов 0.019), 3 — кривая ТМА, рассчитанная по закону логнормального распределения (погрешность расчета 0.006).

ЛИТЕРАТУРА

Алымова Н.В. Особенности состава пикроильменита из кимберлитов и мантийных ксенолитов Якутской провинции: Автореф. дис. ... к.г.-м.н. Иркутск, ИГХ СО РАН, 2006, 23 с.

Амшинский А.Н., Похиленко Н.П. Особенности состава пикроильменитов из кимберлитовой трубки Зарница (Якутия) // Геология и геофизика, 1983 (11), с. 116—119.

Буров Б.В., Ясонов П.Г. Введение в дифференциальный термомагнитный анализ горных пород. Казань, Изд-во Казан. ун-та, 1979, 168 с.

Гаранин В.К., Кудрявцева Г.П., Сошкина Л.Т. Ильменит из кимберлитов. М., Изд-во Моск. ун-та, 1984, 240 с.

Геншафт Ю.С., Илупин И.П. Каймы изменения ильменитов в кимберлитах // Минералогический журнал, 1982, т. 4, № 4, с. 79—84.

Геншафт Ю.С., Цельмович В.А., Гапеев А.К. Пикроильменит: факторы, определяющие его состав // Докл. РАН, 2000, т. 373, № 3, с. 377—381.

Ибрагимов Ш.З., Ясонов П.Г., Денисов И.Г. Разложение на компоненты кривых температурной зависимости намагниченности насыщения многофазной ферримагнитной фракции образцов горных пород // Изв. РАН, Сер. Физика Земли, 1999, № 12, с. 65—69.

Колесников Л.В. Ферримагнитные свойства окислов и их минералогическое значение // Вестн. МГУ, 1970, № 6, с. 59—70.

Костровицкий С.И., Алымова Н.В., Яковлев Д.А., Серов И.В., Иванов А.С., Серов В.П. Особенности типохимизма пикроильменита из алмазоносных полей Якутской провинции // Докл. РАН, 2006, т. 406, № 3, с. 350—354.

Кудрявцева Г.П. Ферримагнетизм природных оксидов. М., Недра, 1988, 232 с.

Силаев В.И., Тарских О.В., Сухарев А.Е., Филиппов В.Н. Келифитизация мантийного пикроильменита на примере алмазоносной трубки Зарница // Вестн. ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2008, № 5, с. 5—10.

Соболев Н.В. О значении пикроильменита для локализации кимберлитовых полей // Геология и геофизика, 1980 (10), с. 149—151.

*Рекомендована к печати 29 апреля 2009 г.
Н.П. Похиленко*

*Поступила в редакцию 29 августа 2008 г.,
после доработки — 17 апреля 2009 г.*