

А. В. ЛАПИН, В. К. ГАРАНИН, В. К. МАРШИНЦЕВ, Г. П. КУДРЯВЦЕВА

**О СОСТАВЕ И ВНУТРЕННЕЙ СТРУКТУРЕ МАГНЕТИТА
ИЗ ЭКСПЛОЗИВНЫХ КАРБОНАТИТОВЫХ БРЕКЧИЙ
СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ОКРАИНЫ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ**

(Представлено академиком Д. С. Коржинским 19 I 1976)

В течение последних лет на восточном склоне Анабарской антеклизы обнаружены многочисленные трубки взрыва, выполненные explosивными карбонатитовыми брекчиями (¹⁻³). Относительная редкость проявления карбонатитов в explosивной фации, отсутствие видимой связи карбонатитовых трубок с массивами ультраосновных — щелочных пород и их пространственная ассоциация с кимберлитами определяют актуальность сопоставления explosивных карбонатитовых брекчий с карбонатитами из классических карбонатитовых провинций СССР. Одним из путей такого сопоставления может служить сравнение состава и свойств характерных общих минералов, и в частности магнетита, типоморфные особенности которого в породах различной формационной принадлежности выражены достаточно отчетливо (⁴).

В настоящем сообщении приводятся новые данные о составе и внутренней структуре магнетитов из карбонатитовых брекчий восточного склона Анабарской антеклизы (аномалии 42/2Н, 57/2Н, 57/1Н, 180, 40/2Н, 70/Н, 43Н, 32/1Н, Джо-южная, трубка Приустьевая и др.). Для сравнения использованы оригинальные данные о составе магнетитов из карбонатитов Карело-Кольской и других провинций. В исследуемых магнетитах, кроме изучения состава на микроанализаторе JXA-50А фирмы «Джеол» (Япония), проводилось химическое определение редких элементов (Nb, Ta, Zr), а также количественный спектральный анализ на Co, Ni, Cr, V, Ti, Mn, Mg, Al, Ca. Для изучения внутренней структуры магнетитов наряду с оптической микроскопией применялась сканирующая микроскопия, термомагнитный анализ и рентгеновская дифрактометрия.

По распространенности магнетит является одним из наиболее характерных второстепенных минералов explosивных карбонатитовых брекчий. Содержание его в тяжелой фракции карбонатитов в среднем составляет 51%, а в отдельных трубках достигает 84—92%. В большинстве случаев магнетит выделяется в виде неправильных зерен и их агрегатов, реже встречаются хорошо образованные кристаллы, имеющие форму октаэдра или представленные комбинацией граней октаэдра и ромбодекаэдра. Размер зерен и кристаллов магнетита варьирует от 0,5 до 2—3 мм, иногда до 1 см. Состав магнетита по данным электронно-зондового анализа приведен в табл. 1. Как видно из нее, по содержанию главных компонентов (Al_2O_3 , TiO_2 , MgO) и некоторых элементов-примесей (MnO) магнетиты из explosивных карбонатитовых брекчий весьма близки к аналогичным минералам типичных карбонатитов. Более полные данные о содержании элементов-примесей (вес.%) в рассматриваемых магнетитах приведены в табл. 2. По содержанию характерных элементов-примесей, включая типоморфные для карбонатитов редкие элементы (Nb, Ta, Zr), магнетиты из explosивных брекчий вполне сопоставимы с аналогичными минералами из карбонатитов главных провинций СССР.

Как следует из результатов пересчета состава магнетита на минералы (см. табл. 1), изученные образцы представляют собой титаномагнетиты, относящиеся к системе твердых растворов $FeFe_2O_4 - Fe_2TiO_4 - Mg_2TiO_4$.

	№ 42/1Н	№ 49/741	№ 42/2Н	№ 57/1Н	№ АН-41
Содержание окислов (вес.%)					
MgO	0,68	2,44	2,91	2,06	2,34
Al ₂ O ₃	0,05	0,58	1,82	0,35	1,77
TiO ₂	1,24	1,97	2,97	5,68	9,45
MnO	0,32	0,36	0,32	0,69	0,24
Fe ₂ O ₃	97,72	95,93	93,83	94,10	89,30
Σ	100,01	101,25	101,84	103,99	103,10
Содержание миналов (мол.%)					
MgAl ₂ O ₄	0,11	1,23	3,78	0,67	3,53
Mg ₂ TiO ₄	2,87	8,52	8,68	7,06	6,04
Fe ₂ TiO ₄	2,41	—	3,18	14,02	2,94
MnFe ₂ O ₄	1,02	1,10	0,95	1,91	0,78
FeFe ₂ O ₄	93,59	89,14	81,76	76,33	60,25

Примечание. Анализы выполнены на микроанализаторе ЖХА-50А при диаметре зонда 1 мм при ускоряющем напряжении 15 кв. Введение поправок проводилось по методу (5).

Таблица 2

Образцы	Ni	Co	Cr	V	Ti	Mn	Mg	Al	Ca	Nb	Ta	Zr
Магнетиты из эксплозивных карбонатитовых брекчий (ср. из 39)	0,0062	0,0063	0,0065	0,067	3,27	0,32	1,44	0,42	0,33	0,026	0,0025	0,016
Магнетиты из кальцитовых карбонатитов.												
Ковдор	0,007	0,002	0,007	0,15	2,28	0,60	2,33	0,53	0,17	0,010	0,0021	0,016
Вуориярви	0,006	0,0073	0,0013	0,13	1,64	0,74	2,08	0,22	0,25	0,019	0,0025	0,012
Себляярв	0,0076	0,009	0,0013	0,10	5,50	1,05	1,49	0,27	0,23	0,029	0,0021	не опр.
Арбарастах	0,003	0,0073	0,0013	0,088	2,00	0,77	4,00	0,64	0,28	0,027	0,0013	0,018

При изучении под оптическим микроскопом титаномagnetиты характеризуются гомогенным строением. Однако применение сканирующей микроскопии, термомагнитного анализа и рентгеновской дифрактометрии свидетельствует о существовании в рассматриваемых образцах фазовой неоднородности.

На основании изучения зависимости относительной намагниченности от температуры в слабых магнитных полях ($H=5-10$ э), среди исследованных титаномagnetитов карбонатитовых брекчий выделены два типа образцов: I тип — обр. №№ 49/741, 57/1Н; II тип — обр. №№ АН.41, 42/1Н, 42/2Н. Для I типа образцов характерно то, что термомагнитные кривые нагрева и охлаждения (рис. 1, а) обнаруживают температурный гистерезис $\Delta\theta = \theta_n - \theta_o = 4-10^\circ \text{C}$. Обе кривые имеют размытое магнитное превращение при переходе ферромагнетик — парамагнетик; других характеристических участков на кривых не отмечается. Размытое магнитное превращение — «хвост намагниченности» свидетельствует о неоднородности состава ферромагнетика. Пониженные значения точек Кюри указывают на вхождение изоморфных примесей в структуру ферришпинелида. На рентгеновской дифрактограмме обр. № 49/741 присутствуют рефлексы, соответствующие двум фазам с кубической структурой типа шпинели: $a_{o_1} = 8,416 \pm 0,002$ и $a_{o_2} = 8,397 \pm 0,002 \text{ \AA}$. Повышенное значение параметра элементарной ячейки a_o относительно чистого стехиометричного magnetита отвечает фазе системы magnetит — ульвешпинель ($\theta_n = 510$, $\theta_o = 500^\circ$), тогда как a_{o_2} относится к фазе, близкой по составу к magnetиту без существенных изоморфных примесей ($\theta_n = 570$, $\theta_o = 568^\circ$). Изучение

образцов на рентгеновском микроанализаторе JXA-50A в режиме электронного микроскопа обнаруживает тонкоплитчатую отдельность, обусловленную присутствием ориентированных ступенчатых скульптур в виде треугольников (рис. 2). Не ясно, являются ли эти скульптуры формами растворения, или же они представляют собой тончайшие структуры распада твердого раствора магнетит — ульвешпинель. Однако присутствие «хвоста намагниченности» за точкой Кюри и двухфазность образца по данным дифрактометрии свидетельствуют в пользу распада твердого раствора.

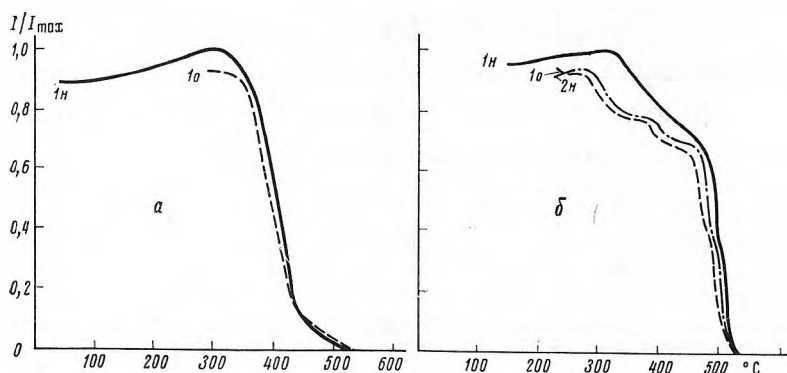


Рис. 1. Термомангнитные кривые $I/I_{\max}$ титаномagnetитов из взрывчатых карбонатитовых брекчий. а — тип I, обр. № 41/1H; б — тип II, обр. № 42/2H. 1H — кривая нагрева исходного образца; 1O — кривая охлаждения; 2H — кривая повторного нагрева



Рис. 2. Изображение скола титаномagnetита (обр. № 49/741) во вторичных электронах. 5000X. Получено на JXA-50A

II тип образцов имеет термомангнитные кривые, характеризующиеся ступенчатой формой. Типичная кривая обр. № 42/2H приведена на рис. 1, б. На кривой первого нагрева с размытым превращением в области $T \sim 325-400^\circ$ выявляются три фазы: $\theta_{n1}=573$, $\theta_{n2}=517$, $\theta_{n3}=499^\circ$. На кривой охлаждения фиксируется по крайней мере пять фаз: $\theta_{o1}=569$, $\theta_{o2}=460$, $\theta_{o3}=310^\circ$. Резкое несовпадение кривых нагрева и охлаждения отражает глубокие фазовые превращения, происходящие при нагревании исходного образца до 600° . По рентгеновским дифрактограммам исходных образцов устанавливаются две фазы со структурой шпинели (обр. № 42/1H: $a_{o1}=8,419 \pm 0,002$ и $a_{o2}=8,401 \pm 0,002 \text{ \AA}$; обр. № АН-41: $a_{o1}=$

$=8,420 \pm 0,002$ и $a_{O_2} = 8,401 \pm 0,002$ Å). Данные терромагнитного анализа и значения параметров элементарной ячейки позволяют диагностировать их как фазы системы магнетит — ульвешпинель и практически чистый стехиометрический магнетит. Электронно-микроскопическое излучение скола титаномагнетита обр. № 42/2Н на JXA-50А при инструментальном увеличении 10 000 $\times$ обнаружило тонкоплитчатую отдельность; зафиксировать тельца распада твердого раствора, являющиеся, по-видимому, причиной отдельности, не удалось вследствие ограниченности разрешения скапировуемой микроскопии.

Все изученные титаномагнетиты, относящиеся к серии твердых растворов магнетит — ульвешпинель — магпезиальный аналог ульвешпинели, содержат в виде компоненты твердого раствора ульвит, так как точка Кюри, являющаяся мерой изоморфных примесей, линейно изменяется в зависимости от концентрации TiO_2 (рис. 3). Закономерной зависимости точки Кюри от примесей MgO и Al_2O_3 не наблюдается. Сравнение точек Кюри рассматриваемых титаномагнетитов из карбонатитов массивов Ковдор, Вуориярви и др. (6-9) обнаруживает существенную разницу в их фазовом составе. Последние содержат ильменит или шпинель в качестве продуктов распада твердого раствора; их высокие точки Кюри (550—575°) указывают на незначительное содержание изоморфных примесей в структуре ферришпинелида. Напротив, резко заниженные точки Кюри титаномагнетитов из explosивных карбонатитовых брекчий свидетельствуют о вхождении компоненты ульвешпинели в структуру ферришпинелида. В этом отношении титаномагнетиты карбонатитовых брекчий близки к «замороженным» титаномагнетитам третичных базальтов. Очевидно, что указанные особенности внутренней структуры исследованных магнетитов объясняются резким падением температуры при формировании карбонатитовых трубков взрыва.

Таким образом, магнетиты из карбонатитовых брекчий восточного склона Анабарской антеклизы по химическому составу и содержанию характерных элементов-примесей вполне сопоставимы с аналогичными минералами из карбонатитов классических карбонатитовых провинций, но отличаются от них особенностями внутренней структуры, отражающими специфические условия формирования explosивных тел.

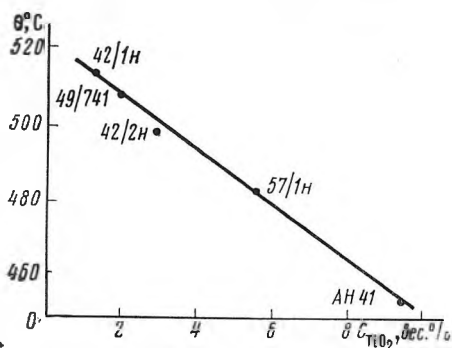


Рис. 3. Зависимость точки Кюри θ от содержания TiO_2 в титаномагнетитах

Институт минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов
Москва

Поступило
15 I 1976

Московский государственный университет
им. М. В. Ломоносова
Якутский филиал Академии наук СССР
Якутск

ЛИТЕРАТУРА

- ¹ В. В. Ковальский, К. Н. Никишов, О. С. Егоров, Кимберлитовые и карбонатитовые образования юго-восточного и восточного склонов Анабарской антеклизы, М., «Наука», 1969.
- ² А. А. Папкратов, Е. Д. Черный, В сб.: Геология, петрография и минералогия магматических образований северо-восточной части Сибирской платформы, М., «Наука», 1970.
- ³ В. К. Маршинцев, Карбонатитовые образования восточного склона Анабарского сводного поднятия, Якутск, 1974.
- ⁴ Л. Ф. Борисенко, А. В. Лапин, ДАН, т. 196, № 6 (1971).
- ⁵ Р. Martin, D. Poole, Metals and Materials, v. 5, № 3 (1971).
- ⁶ О. М. Римская-Корсакова, Зап. Всес. мин. об-ва, т. 79, № 3 (1950).
- ⁷ Г. П. Барсанов, Л. В. Колесников, Н. Е. Сергеева, В сб.: Проблемы геохимии, М., «Наука», 1965.
- ⁸ Г. П. Кудрявцева, Геол. рудн. месторожд., № 1 (1972).
- ⁹ Л. В. Чернышева, ДАН, т. 195, № 3 (1970).