

Л. Ф. БОРИСЕНКО, А. В. ЛАШИН

**О КОНЦЕНТРАЦИЯХ ЭЛЕМЕНТОВ-ПРИМЕСЕЙ
В ТИТАНОМАГНЕТИТЕ И МАГНЕТИТЕ ЭНДОГЕННЫХ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ**

(Представлено академиком Д. С. Коржинским 16 II 1970)

В настоящее время выделяется не менее 12 магматических формаций, к которым приурочены наиболее значительные эндогенные железорудные месторождения мира. Проведенные исследования показали, что помимо специфических геолого-минералогических признаков, железорудные месторождения различного генезиса и формационной принадлежности различаются по распределению элементов-примесей в титаномагнетите и магнетите. Для некоторых групп месторождений отдельных формаций эта особенность отмечалась на примере главным образом Ti, V, Mg (1-3). Нами изучалось распределение Mg, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Ni (табл. 1) в титаномагнетите и магнетите. Интерес представляют также Nb, Zr, Ga, Co, Zn, Ge, но из-за недостаточного количества данных они в таблицу не включены. Подавляющая часть количественных определений элементов-примесей была выполнена в спектральной и химической лабораториях. Для некоторых формаций были учтены данные (², 4-17) и др.). Если элемент установлен менее чем в 50% анализированных проб, то среднее его содержание не вычислялось. Сопоставление полученных результатов позволяет сделать следующие выводы:

1. Магнетит и титаномагнетит эндогенных железорудных месторождений разных генетических типов существенно различаются по содержанию элементов-примесей. Для титаномагнетита подавляющей части магматических месторождений характерны более высокие концентрации Ti, Cr, Ni, V, Sc, чем для магнетита контактово-метасоматических и гидротермальных месторождений. Концентрации Mg, Mn, а также Zn (до 0,9%), Co (до 0,04%), Ge (до 0,0026%) бывают достаточно высокими в магнетите контактово-метасоматических месторождений. Только титаномагнетит и магнетит гидротермально-метасоматических образований щелочных ультраосновных комплексов характеризуются повышенными содержаниями Nb (до 0,048%), Zr (до 0,037%), Ta (до 0,016%); для них же характерны максимальные содержания Sc (до 0,0124%).

2. На общий состав и концентрации элементов-примесей в титаномагнетите магматических месторождений значительное влияние оказывает формационная принадлежность последних. Максимальные содержания Ti (до 13,6%) и V (до 0,98%) установлены в титаномагнетите месторождений, приуроченных к основным породам габбро-диорит-диабазовой формации геосинклинальных областей, а также формации дифференцированных габбровых и воритовых интрузий, формации мигматитов амфиболитовой фации и связанных с ними анатектитов, анортозитовой и габбро-сциенитовой формаций древних щитов и платформ. Магнетит ультраосновной — щелочной формации в целом характеризуется повышенными концентрациями Ti, но пониженными — V.

3. В пределах определенных магматических формаций концентрации элементов-примесей в магнетите и титаномагнетите существенно зависят от минерального состава рудных пород. Так, для магматических железорудных месторождений

Содержание элементов-примесей в титаномагнетите и магнетите

Магматическая Формация	Тип руд	Примеры месторождений	Минерал	Содержание, вес. % *						
				Mg	Sc (n-10-9)	Ti	V	Cr	Mn	Ni
Магматические месторождения										
Габбро-диорит-диабазовый	Массивные и вкрапленные в габбро и габбро-аффиболитах	Кусинское, Медведевское, Копанское (Урал)	Титаномагнетит	0,15—2,64 1,23 (44)	2,5—41,9 16,7 (36)	3,36—12,78 5,90 (121)	0,31—0,62 0,42 (41)	0,004—2,06 0,45 (42)	0,69—0,36 0,20 (44)	0,012—0,50 0,12 (30)
Габбро-пироксенит-лунитовая	Шпиро-вкрапленные и массивные в пироксенитах, вердитах, габбро и горно-лунитах	Гусевогорское, Качканарское, Висимское, Волковское, Первоуральское (Урал)	То же	0,27—3,90 1,59 (65)	4,6—39,0 14,9 (76)	0,61—4,32 1,81 (257)	0,05—0,84 0,35 (136)	0,007—0,29 0,066 (59)	0,03—0,42 0,19 (39)	0,010—0,09 0,025 (68)
Габбро-сидеритовый	Шпиро-вкрапленные и массивные в оливинитах, перидотитах, пироксенитах, габбро, амфиболитах	Елеть-Озеро (Сев. Кавказ), Гремяча — Выржес (Кольский полуостров)	»	0,27—1,84 0,92 (21)	6,5—22,8 20,0 (19)	2,86—11,64 7,14 (20)	0,11—0,45 0,31 (17)	— 0,08 (9)	0,17—0,54 0,28 (35)	—
Дифференцированных габбровых норитовых интрузий	Массивные в норитах, анортозитах, габбро	Месторождения Бушвельдского комплекса (ЮАР)	»	0,07—0,81 0,43 (10)	—	7,24—9,48 8,27 (10)	0,20—0,98 0,55 (10)	0,005—0,25 0,082 (10)	0,05—0,25 0,18 (10)	Сл. (10)
Мигматитов амфиболитовой фации и связанных с ними анагенитов	Вкрапленные в габбро-диабаз	Пудожгорское и Койкарское (Карелия)	»	0,13—0,63 0,32 (67)	1,3—8,8 3,85 (88)	6,0—13,0 9,20 (29)	0,40—0,73 0,55 (68)	0,007—0,014 — (22)	0,14—0,50 0,32 (67)	0,007—0,029 0,017 (19)
Анортозитовая	Вкрапленные и массивные в габбро, анортозитах, пироксенитах, оливинитах	Кручининское (Забайкалье), Чинейское (Восточная Сибирь), Цаганское (Кольский полуостров)	»	0,50—1,61 1,04 (19)	28,0—46,0 37,0 (9)	6,2—13,6 7,45 (19)	0,12—0,55 0,35 (20)	0,005—0,205 0,092 (18)	0,192—0,73 0,34 (19)	Не обн. (14)
Щелочно-ультраосновная	Шпиро-вкрапленные в оливинитах и пироксенитах	Кугда, Бор-Урач, Оди-хивча (Полярная Сибирь), Ковдор, Салма и др. (Кольский полуостров)	»	1,31—7,74 3,50 (107)	1,0—58,0 19,2 (9)	1,00—12,15 5,46 (51)	0,010—0,274 0,081 (53)	0,031—3,6 0,66 (106)	0,05—0,62 0,30 (107)	0,012—0,36 0,125 (104)

Гидротермально-метасоматические месторождения

Щелочно-ультраосновная	Массивные, пологоступенчатые и вкрапленные комплексные пероскист-титаномагнетитовые руды в флюидостадивированных и пеллекристаллических оливинитах и широкситах	Титаномагнетит	0,42—5,64 2,85 (44)	3,0—62,0 43,0 (12)	0,75—20,0 6,86 (17)	0,033—0,160 0,055 (44)	0,003—0,36 0,088 (31)	0,09—0,63 0,41 (44)	0,004—0,10 0,37 (30)
То же	Массивные и вкрапленные комплексные редкоземельные магнет-магнетитовые руды с форстеритом и кальцитом (камафориты)	Магнетит и титаномагнетит	0,50—6,00 2,64 (102)	40,0—124,0 66,0 (29)	1,108—4,50 1,39 (126)	0,010—0,246 0,084 (186)	0,0007—0,0004 0,0011 (32)	0,12—1,46 0,57 (122)	0,001—0,006 — (71)
Андезитовая	Прожилково-вкрапленные в брекчированных андезитах	Магнетит	0,32—1,80 0,88 (19)	Не обн. (19)	0,08—0,66 0,25 (19)	0,06 (0,36) 0,15 (19)	0,0007—0,013 — (37)	0,06—0,15 0,09 (37)	0,005—0,085 0,044 (19)
Трашевая (толеит-базальтовая)	Массивные, вкрапленные и осадочные в осколочных породах, скориноподобных метасоматитах, иногда брекчированных (аггеро-илимский тип)	Магнетит	0,48—7,50 3,12 (44)	2,6—22,6 7,9 (18)	0,03—0,71 0,19 (29)	0,011—0,50 0,118 (46)	Не обн. (24)	0,06—0,30 0,14 (33)	0,025—0,095 — (18)

Контактово-метасоматические месторождения

Габбро-плагиограниты, габбро-диорит-гранодиоритовая и др.	Массивные, вкрапленные, плитчатые, прожилково-вкрапленные преимущественно в известковых скарнах	Магнетит	0,024—2,86 0,39 (237)	1,3—9,1 — (68)	0,0012—0,84 0,146 (1151)	0,002—0,32 0,039 (1225)	0,001—0,075 0,007 (112)	0,008—4,04 0,14 (279)	0,0008—0,010 0,005 (173)
---	---	----------	--------------------------	-------------------	-----------------------------	----------------------------	----------------------------	--------------------------	-----------------------------

* Над чертой — пределы колебаний, под чертой — среднее, в скобках — число проб.

рудных месторождений габбро-пироксенит-дуניתовой формации Урала наиболее высокие концентрации V характерны для титаномагнетита из габбро, более низкие — из гориллендита и минимальные — из пироксенита. Для магния устанавливается обратное соотношение. Подобная же зависимость установлена для титаномагнетита из различных рудных пород месторождений щелочно-ультраосновной формации. Наличием нескольких типов рудных пород объясняются заметные колебания содержания элементов-примесей в титаномагнетите из месторождений одной формации.

4. В группе контактово-метасоматических месторождений на концентрацию элементов-примесей в магнетите также значительное влияние оказывает формационная принадлежность этих месторождений. Генетическая связь железорудных месторождений этого типа с гранитоидами графитного или габброидного ряда сказывается на общем уровне содержания второстепенных элементов в магнетите. На примере Алтае-Саянской области показано, что более высокие содержания элементов-примесей характерны для магнетита контактово-метасоматических месторождений, генетически связанных с гранитоидами габброидного ряда (²). Состав вмещающих пород, по которым развиваются рудные скарны, также заметно влияет на уровень концентраций элементов-примесей. При замещении известняков образуется магнетит, бедный этими элементами (⁸).

В тех случаях, когда образование магнетита гидротермально-метасоматических месторождений тесно связано с ультрабазитами и базитами, он может быть обогащен теми же элементами, что и титаномагнетит магматического генезиса. Это, например, четко проявлено в гидротермальных образованиях щелочно-ультраосновной формации. Иногда на контактово-метасоматических месторождениях наблюдается обогащение магнетита отдельными элементами-примесями (например, V до 0,32% на Осокино-Александровском и Евстунинском месторождениях Урала), что связано, вероятнее всего, с влиянием вмещающих пород.

Таким образом, наиболее важными факторами, определившими уровень концентраций и характер распределения элементов-примесей в титаномагнетите и магнетите, являются: 1) генетический тип эндогенных месторождений железа; 2) принадлежность этих месторождений к определенным магматическим формациям; 3) состав материнских интрузивных пород для месторождений всех типов и специфика вмещающих пород для гидротермальных и контактово-метасоматических месторождений.

Институт минералогии, геохимии
и кристаллохимии редких элементов
Москва

Поступило
6 II 1970

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ М. А. Карасик, Зап. Всесоюз. мин. общ., 84, в. 1 (1955). ² В. А. Вахрушев, Минералогия, геохимия и генетические группы контактово-метасоматических железорудных месторождений Алтае-Саянской области, «Наука», 1965. ³ Л. Ф. Борисенко, Геохимия, № 7 (1968). ⁴ Л. Ф. Борисенко, С. И. Лебедева, Л. И. Сердобова, Геол. рудн. месторожд., 10, № 4 (1968). ⁵ В. М. Григорьев, Г. С. Момджи, Геол. месторожд. редких элементов, в. 29 (1966). ⁶ А. И. Богачев, С. И. Зак и др., Геология и петрология Ельтозерского массива габброидных пород Карелии, 1963. ⁷ Л. С. Бородин, Б. П. Золотарев, Л. И. Сердобова, Изв. АН СССР, сер. геол., № 5 (1966). ⁸ М. Т. Бояджи, Г. М. Мкртчян, Геол. рудн. месторожд., 11, № 2 (1969). ⁹ О. А. Воробьева, Н. В. Самойлова, Е. В. Свешникова, Тр. Инст. геол. рудн. месторожд., петрогр., минерал. и геохим. АН СССР, в. 65 (1962). ¹⁰ А. М. Дымкин, Петрология и генезис магнетитовых месторождений Тургай, «Наука», 1966. ¹¹ И. А. Киселева, А. А. Матвеев, Геол. рудн. месторожд., 9, № 6 (1967). ¹² Л. В. Колесников, Г. С. Румянцев, ДАН, 165, № 5 (1965). ¹³ А. П. Лебедев, Тр. Инст. геол. рудн. месторожд., петрогр., минерал. и геохим. АН СССР, в. 77 (1962). ¹⁴ Л. Н. Овчинников, Тр. Горно-геол. инст. Ур. фил. АН СССР, в. 39 (1960). ¹⁵ В. Н. Павлов, Тр. Инст. геол. рудн. месторожд., петрогр., минерал. и геохим. АН СССР, в. 52, Изд. АН СССР, 1961. ¹⁶ А. А. Полканов, Н. А. Елисеев и др., Массив Гремяха — Вырмес на Кольском полуострове, «Наука», 1967. ¹⁷ F. J. Coertze, Geol. Surv. Republic of South Africa, Bull. 47 (1966).