

Л. Ф. БОРИСЕНКО, В. Е. ОСТРОВСКИЙ, Л. И. СЕРДОВОВА,
Ю. П. СОТСКОВ

**ОБ ЭЛЕМЕНТАХ СЕМЕЙСТВА ЖЕЛЕЗА
В ИЛЬМЕНИТ-МАГНЕТИТОВЫХ РУДАХ БЕЛОРУССКОГО
КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО МАССИВА**

(Представлено академиком Д. С. Коржинским 5 VII 1971)

Изучались ильменит-магнетитовые руды, приуроченные к толще архейских метаморфических пород, где широкое распространение имеют кристаллические сланцы, амфиболиты, гнейсы, граниты. Скопления рудных минералов пространственно связаны с амфиболитами (Новоселковское рудопроявление, Белорусский кристаллический массив). Для этих пород характерны пятнисто-полосчатые текстуры и повсеместное развитие базовых структур: гранобластовая, нематобластовая, порфиробластовая и др. Породы подверглись интенсивному динамометаморфизму, о чем свидетельствуют катакластические структуры и волнистое угасание плагиоклаза и кварца.

Массивные ильменит-магнетитовые руды приурочены к меланократовым участкам амфиболитов, сложенным роговой обманкой, которая образует анхимономинеральные обособления неправильной формы, шириной от нескольких сантиметров до 20 м. Скопления магнетита и ильменита в виде прожилков или небольших шпиров находятся в центральной части меланократовых участков. Кроме того в амфиболитах наблюдается мелкая крапленность этих же рудных минералов (до 30%). В небольшом количестве содержатся пирит и пирротин (до 5%). Общая мощность рудной зоны составляет 20—70 м (по скважинам).

Массивные руды представляют собой мелкозернистый агрегат обособленных зерен магнетита и ильменита. Размеры отдельных зерен до 1 мм. Форма зерен изометрическая или неправильная. Руды характеризуются повышенными содержаниями Sc, Ti, V, Co, (табл. 1). В отраженном свете магнетит довольно однородный. Сетчатых структур распада твердых растворов, характерных для титаномагнетита магматических месторождений, в нем не наблюдается. Однако редкие пластинчатые включения ильменита в магнетите встречаются. Микротвердость магнетита 475 кг/мм² (определено С. И. Лебедевой по 10 замерам). Его состав (%): 62,40 Fe₂O₃; 0,93

Таблица 1

Содержание Sc, Ti, V, Cr, Co, Mn в массивных рудах (вес. %) *

Элемент	n	Пределы	Средн.	Элемент	n	Пределы	Средн.
Sc	8	0,0006—0,0021	0,0013	Cr	8	0,0034—0,0081	0,0052
Ti	8	2,20—5,00	3,42	Co	8	0,011—0,028	0,017
V	8	0,10—0,28	0,18	Mn	8	0,17—0,38	0,24

* В табл. 1—4 Sc, Co, Fe определены методом нейтронно-активационного анализа с использованием Ge (Li)-детектора (аналитик Ю. П. Сотсков), а Ti, V, Cr, Mn — количественным спектральным методом (аналитик Л. И. Сердобова), n — число проб.

Таблица 2

Содержание Sc, Ti, V, Cr, Co, Mn и Mg в магнетите массивных (1) и вкрапленных (2) руд (вес. %)

Элемент	1			2		
	n	пределы	средн.	n	пределы	средн.
Sc	3	0,0001—0,00026	0,00019	4	0,0001—0,00023	0,00018
Ti	3	0,35—0,64	0,50	4	0,43—0,70	0,58
V	3	0,24—0,39	0,30	4	0,21—0,30	0,24
Cr	3	0,0026—0,0045	0,0034	3	0,0031—0,0065	0,0047
Co	3	0,0049—0,036	0,019	4	0,0038—0,0069	0,0059
Mn	3	—	Не обн.	4	0,10—0,32	0,10*
Mg	3	0,25—0,65	0,40	3	0,49—0,80	0,62

* Установлен в 2 пробах.

Таблица 3

Содержание Sc, Ti, V, Co, Mn в роговой обманке анхимономинеральных обособлений (1) и амфиболитов (2) (вес. %)

Элемент	1			2		
	n	пределы	средн.	n	пределы	средн.
Sc	3	0,0024—0,0051	0,0039	4	0,0011—0,0067	0,0045
Ti	3	1,10—1,50	1,23	4	0,90—1,60	1,06
V	3	0,024—0,052	0,036	4	0,020—0,038	0,028
Co	3	0,0050—0,0084	0,0062	4	0,0047—0,0065	0,0058
Mn	3	0,20—0,22	0,21	4	0,18—0,28	0,23

Al_2O_3 ; 34,64 FeO; 0,50 MgO; 1,02 TiO_2 ; 0,10 SiO_2 ; 0,50 CaO; сумма 100,09
Концентрации элементов-примесей в магнетите массивных и вкрапленных руд близки (исключение составляет кобальт; табл. 2). По сравнению с массивными рудами (табл. 1) в магнетите понижено содержание Ti и Sc, которые в основном сконцентрированы в ильмените. Содержания скандия в ильмените колеблются от 0,0030 до 0,0045% и в среднем составляют 0,0036%. Концентрация Sc в магнетите примерно в 20 раз меньше. Наоборот, содержание ванадия в магнетите в 3—4 раза больше, чем в ильмените.

Роговая обманка, ассоциирующая с рудными минералами, также характеризуется повышенными содержаниями Sc, Ti, V (табл. 3). Концентрации элементов-примесей в роговой обманке анхимономинеральных обособлений и из собственно амфиболитов близки.

О генезисе оруденения Белорусского кристаллического массива высказывались различные мнения (¹⁻⁴). Установленный нами характер распределения редких и малых элементов в исследованных магнетите и ильмените, особенно Sc и V, подобен их распределению в этих же минералах, образовавшихся при динамометаморфизме первично магматических руд. Так, в магнетите Кусинского месторождения (Урал), приуроченного к габбро-амфиболитам, содержится до 0,001% Sc и до 0,62% V, а в ассоциирующем с ним ильмените до 0,01% Sc и до 0,13% V. Аналогичное явление наблюдается в рудах Отанмяки (Финляндия) (⁵), Цагинского месторождения (Гольский полуостров) (⁶), где под действием метаморфизма вместо титаномагнетитовых руд образовались ильменит-магнетитовые руды. Другими словами, действие метаморфизма способствует, с одной стороны, накоплению ванадия в магнетите, а с другой — очищению этого минерала от титана и скандия, которые концентрируются в ильмените.

Другой путь образования изученных руд может быть связан с регрессивным метаморфизмом (4) или с ультраметаморфизмом архейских кристаллических сланцев, которые существенно обогащены железом и титаном. Содержание магнетита и ильменита в них достигает 10—15%. Согласно данным анализа, и кристаллические сланцы, и амфиболиты характеризуются повышенными концентрациями железа, титана, а также ванадия и скандия (табл. 4). Широкое проявление гранитизации, которой подвергались указанные породы, привело к интенсивному выносу кальция, магния и всех элементов семейства железа. В основном это касалось Fe и Ti, которые, вероятно, переотлагались в тектонически ослабленных зонах, образуя рудные скопления, а также частично входили в состав железомagneзиальных обособлений. В процессе гранитизации пород могли быть вынесены хром, никель, марганец и в значительной степени скандий и ванадий (см. табл. 4).

Возможность выноса под воздействием ультраметаморфических процессов Fe, Ti, V и других элементов отмечалась для докембрийских пород Украинского кристаллического щита Я. Н. Белевцевым (7). На мобилизацию и отложение рудного материала в условиях ультраметаморфизма и регионального метаморфизма указывали Н. Г. Судовиков (8), А. В. Милковский и С. С. Матвеева (9) и др. Первичная обогащенность элементами семейства железа подвергшихся гранитизации пород Белорусского кристаллического массива могла сыграть важную роль в формировании руд, которые характеризуются повышенными содержаниями Ti, V, Sc. Лейкокрастовый микроклиновый гранит (реже вторичный кварцит), который является конечным продуктом метаморфических превращений пород Белорусского кристаллического массива, содержит очень мало элементов семейства железа. Переносу железа, титана, ванадия и других элементов, по-видимому, способствовали вода и легколетучие компоненты, в частности галогениды, входящие в состав жидкой и газовой фазы. Присутствие в рудах хлорсодержащего апатита (5—25%) и скаполита показывает, что возможной формой переноса железа и других элементов его семейства могли быть галоидные соединения. Вода, находившаяся при высоких температуре и давлении, также могла играть значительную роль в транспортировке этих элементов. Реальность существенного выноса под воздействием водяного пара Ti, V, Cr, Ni экспериментально доказана Л. Н. Овчинниковым (10). В дальнейшем образовавшиеся в результате гранитизации руды подверглись динамометаморфизму и претерпели изменения, которые привели к выделению самостоятельных зерен магнетита и ильменита.

Таким образом, генезис оруденения Белорусского кристаллического массива может быть связан: 1) с метаморфизмом первично магматических руд, а также 2) с ультраметаморфизмом или регрессивным метаморфизмом, под действием которого широкое развитие получили метасоматические процессы, способствовавшие интенсивному выносу Fe, Ti и других элементов семейства железа. Каким бы, однако, ни был генезис исследо-

Таблица 4

Содержания Sc, Ti, V, Cr, Ni, Co, Fe, Mn в сланцах (1), амфиболитах (2) и гранитах (3) (вес. %)

Элемент	1			2			3		
	n	пределы	средн.	n	пределы	средн.	n	пределы	средн.
Sc	5	0,0030—0,0038	0,0035	7	0,0017—0,0034	0,0025	3	0,00001—0,00035	0,00015
Ti	3	2,0—2,15	2,05	7	0,57—1,65	1,39	3	0,095—0,25	0,18
V	3	0,052—0,080	0,068	7	0,011—0,043	0,025	3	0,0025—0,0027	0,0017
Cr	3	0,017—0,065	0,036	7	0,0055—0,086	0,019	3	—	Не обн.
Ni	3	0,014—0,015	0,057	7	0,010—0,020	0,010	3	—	»
Co	4	0,0036—0,0074	0,0059	7	0,0028—0,0097	0,0048	2	0,00034—0,00038	0,00036
Fe	4	15,1—20,0	17,1	7	6,03—14,90	10,67	3	1,0—1,70	1,43
Mn	3	0,12—0,15	0,13	7	0,11—0,24	0,17	3	—	Не обн.

ванных руд, они, так же как и первично-магматические руды (¹¹), существенно отличаются по уровню концентрации редких и малых элементов от метаморфизованных железных руд осадочного или осадочно-вулканического генезиса; последние, как правило, характеризуются низкими концентрациями элементов-примесей семейства железа. В особенности это касается широко распространенных железистых кварцитов (¹², ¹³). Такая закономерность в первую очередь зависит от незначительных содержания указанных элементов в первичных осадочных и осадочно-вулканогенных рудах. В процессе их метаморфических преобразований существенного дополнительного прироста большинства редких и малых элементов не происходит. Поэтому только гранитизация пород, обогащенных элементами семейства железа, или динамометаморфизм первично-магматических руд способствуют образованию ильменит-магнетитовых руд с повышенными содержаниями элементов семейства железа, в особенности титана, ванадия, скандия. Кроме того, метаморфизм приводит к разделению Ti, V, Sc и обогащению одних рудных минералов ванадием (магнетит), а других — титаном и скандием (ильменит), что значительно повышает качество руды.

Институт минералогии, геохимии
и кристаллохимии редких элементов
Москва

Белорусский научно-исследовательский
геологоразведочный институт
Минск

Поступило
15 VI 1971

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Ю. А. Бабкин и др., Докл. АН БССР, 11, № 10 (1967). ² В. Н. Борковская, В сборн. Вопросы петрологии и рудоносности кристаллического фундамента БССР и смежных районов, Минск, 1971. ³ П. З. Хомич, Там же. ⁴ В. Е. Островский, Докл. АН БССР, 16, № 3 (1972). ⁵ Железорудные месторождения мира, 2, сборн. статей под ред. Г. А. Соколова, ИЛ, 1955. ⁶ Б. А. Юдин, С. И. Зап., Сов. геол., № 9 (1970). ⁷ Я. Н. Белевцев, Изв. АН СССР, сер. геол. № 1 (1964). ⁸ Н. Г. Судовиков, Сов. геол., № 1 (1965). ⁹ А. В. Миловский, С. С. Матвеева, Геол. рудн. месторожд., № 3 (1970). ¹⁰ Л. Н. Овчинников, В сборн. Копфер. Проблемы постмагматического рудообразования, 1, Прага, 1963. ¹¹ Л. Ф. Борисенко, А. В. Лапин, ДАН, 196, № 3 (1971). ¹² Г. С. Момджи, В. М. Григорьев, Разведка и охрана недр, № 2 (1965). ¹³ К. Г. Рябцев, В сборн. Геология и полезные ископаемые КМА, 1967.