

28. Physics and Chemistry of the Earth. V. 9. / L.H.Ahrens, J.B.Dawson, A.Duncan, A.J.Erlank. Oxford: Pergamon Press, 1975. 940 p.
29. Price S.E., Russell J.K., Kopylova M.G. Primitive magma from the Jericho pipe, N.W.T., Canada: constraints on primary kimberlite melt chemistry // *J. Petrol.* 2000. V. 41. № 6. P. 789—808.
30. Reed L.E., Sinclair I.G.L. The search for kimberlite in the James Bay Lowlands of Ontario // *CIM Bull.* 1991. V. 84. № 947. P. 132—139.
31. Schmidberger S.S., Francis D. Constraints on the trace element composition of the Archean mantle root beneath Somerset Island, Arctic Canada // *J. Petrol.* 2001. V. 42. № 6. P. 1095—1117.
32. Scott Smith B.H., Danchin R.V., Harris J.W., Stracke K.J. Kimberlites near Orroroo, South Australia // *Kimberlites I: Kimberlites and Related Rocks / J.Kornprobst. Elsevier. Amsterdam, 1984. P. 121—142.*
33. Seggie A.G., Hannweg G.W., Colgan E.A., Smith C.B. The geology and geochemistry of the Venetia kimberlite cluster, Northern Province, South Africa // *Proc. 7th Int. Kimberlite Conf. V. 2. Cape Town: S. Afr., 1999. P. 750—756.*
34. Shervais J.W. Ti—V plots and the petrogenesis of modern and ophiolitic lavas // *Earth and Planet. Sci. Letters.* 1982. V. 59. № 1. P. 101—118.
35. Skinner E.M.W., Smith C.B., Viljoen K.S., Clark T.C. The petrography, tectonic setting and emplacement ages of kimberlites in the southwestern border region of the Kaapvaal Craton, Prieska area, South Africa // *Proc. 5th Int. Kimberlite Conf. CPRM Special Publication 1/A Jan/94 V. 1. Brasilia, 1994. P. 80—97.*
36. Smith C.B., Gurney J.J., Skinner E.M.W., Clement C.R., Ebrahim N. Geochemical character of Southern African kimberlites: A new approach based on isotopic constraints // *Trans. Geol. Soc. S. Afr.* 1985. V. 88. № 2. P. 267—280.
37. Taylor W.R., Tompkins L.A., Haggerty S.E. Comparative geochemistry of West African kimberlites: Evidence for a micaceous kimberlite endmember of sublithospheric origin // *Geochim. Cosmochim. Acta.* 1994. V. 58. № 19. P. 4017—4037.
38. Tompkins L.A., Meyer S.P., Han Z., Hu S., Armstrong R., Taylor W.R. Petrology and geochemistry of kimberlites from Shandong and Liaoning Provinces, China // *Proc. 7th Int. Kimberlite Conf. V. 2. Cape Town: S.Afr., 1999. P. 872—887.*
39. Wedepohl K.H., Muramatsu Y. The chemical composition of kimberlites compared with the average composition of three basaltic magma types // *Proc. 2nd Int Kimberlite Conf. V.1. Washington: AGU, 1979. P. 300—312.*

ЦНИГРИ
ИГЕМ

Рецензент — В.К. Гаранин

УДК 553.311

А.Ж. КУЗНЕЦОВ

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ-ПРИМЕСЕЙ В МАГНЕТИТАХ ГОРОБЛАГОДАТСКОГО ЖЕЛЕЗОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

На основании полученных данных о содержании элементов-примесей в магнетитах из основных текстурных разновидностей руд Гороблагодатского месторождения сделаны предположения о первичной вулканогенно-осадочной природе железорудных залежей. Рассмотрено влияние наложенных процессов, связанных с Кушвинской сиенитовой интрузией и ее сателлитами, на эволюцию минералов железа и их элементов-примесей.

Гороблагодатское месторождение расположено в пределах Тагило-Кушвинского железорудного района, открыто в 1828 г. вогулицем Анисимом Чумпиным и разрабатывается (начиная с 1835 г.) до сегодняшних дней.

Месторождение залегает в гороблагодатской толще вулканогенно-осадочных пород нижнего силура, представленной базальтами, андезитобазальтами и их туфами, переслаивающимися с туфоалевролитами, туфопесчаниками и туфогравелитами. Породы прорваны Кушвинской сиенитовой интрузией и серией сиенит-порфировых и микросиенитовых даек. Рудные тела — линзы и пластообразные залежи, залегающие согласно вмещающим породам, образуют три основных продуктивных горизонта, погружающихся под углами 10—30° на северо-восток и прослеживающихся на расстоянии свыше 5 км от интрузии. Мощность рудных тел в среднем не превышает 30 м. Руды деформированы интрузией и после-

рудными складкообразованием и дизъюнктивными нарушениями [4].

Большинство исследователей (Л.Н. Овчинников, Я.П. Баклаев, В.Г. Фоминых и др.) рассматривают Гороблагодатское месторождение как типичное контактово-метасоматическое (скарновое). Другие (Ю.Л. Булашевич, А.М. Дымкин, Я.Н. Белевцев и др.) приводили факты, свидетельствующие в пользу первичного вулканогенно-осадочного происхождения руд, и рассматривали оруденение как полигенное, сильно растянутое во времени, не отрицая при этом метасоматического воздействия интрузий. Элементы-примеси в магнетитах широко используются для выяснения вопросов генезиса руд и горных пород различных месторождений. Так, С.А. Рокачев предполагает определять генетический тип железорудных месторождений с учетом колебаний содержания примесей в рудах [13].

Основная цель автора — оценка влияния геологических процессов в полигенной истории

формирования Гороблагодатского месторождения на характер распределения элементов-примесей в магнетитах руд. Отобранный нами каменный материал изучен в отраженном и проходящем свете, на рентгеновском микроанализаторе «Самеса», электронном микроскопе и с помощью рентгеноструктурного анализа.

Картирование карьера «Центральный» и макроскопическое исследование полированных шлифов руд месторождения с учетом данных [10] позволяют выделить четыре основных типа руд: сплошные, «оспенные», ритмично-слоистые и послонно-вкрапленные. Сплошные руды обладают массивной, пятнистой и полосчатой текстурами, составляют основной объем балансовых запасов месторождения и слагают промышленные тела. «Оспенные» руды пятнистой, гнездово-вкрапленной и прожилковидной текстур образуют раздувы в пластообразных телах сплошных руд в их контактовой зоне и с дайковыми сателлитами сиенитовой интрузии. Ритмично-слоистые [7] и послонно-вкрапленные руды в виде маломощных (несколько сантиметров, несколько десятков сантиметров) слоев относятся, как правило, к забалансовым и приурочены к кровле пластообразных промышленных залежей сплошных руд или к межпластовым пространствам.

Изучение химического состава магнетита железорудных месторождений Урала показало присутствие элементов-примесей: Ti^{4+} , Mg^{2+} , Al^{3+} , Mn^{2+} , V^{5+} , Co^{2+} , Cr^{3+} , Ni^{2+} , Zn^{2+} , Pb^{2+} , Ge^{4+} , Sn^{2+} [10]. Из них основными, влияющими на структуру и свойства магнетита, являются Ti^{4+} , Mg^{2+} , Al^{3+} , а при больших содержаниях — Mn^{2+} . Поэтому автор более подробно рассмотрел именно эти элементы.

Магнетиты руд Гороблагодатского месторождения в целом по содержаниям элементов-примесей отличаются от магнетитов других месторождений аналогичного типа прежде всего повышением содержания марганца (рис. 1).

Концентрации и распределение элементов-примесей в магнетитах различных текстурных разновидностей руд на изученном месторождении подчиняются следующим закономерностям. Магнетиты сплошных руд отличаются наименьшими количествами титана (около 0,16%) с интервалом разброса 0,13% (рис. 2). Сменяющие их по простиранию, падению и по вертикали ритмично-слоистые и послонно-вкрапленные руды характеризуются увеличением содержания титана соответственно до 0,58 и 0,69%. Интересны максимальные концентрации титана (0,91%) и низ-

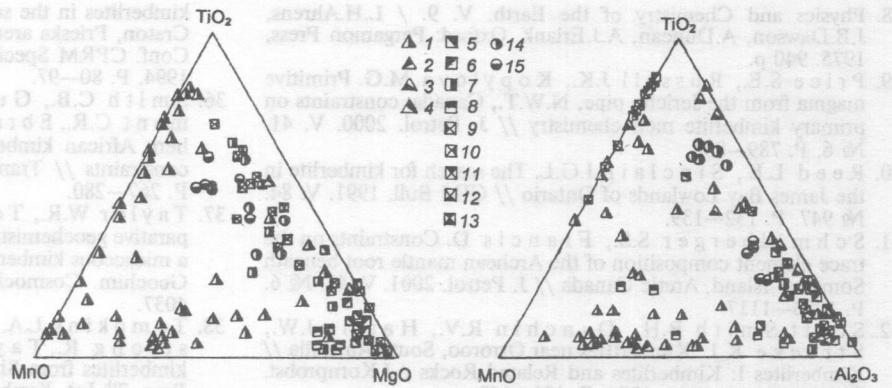


Рис. 1. Вариации содержаний элементов-примесей в магнетитах железорудных месторождений: I — Урал: 1 — Гороблагодатское, 2 — Высокогорское, 3 — Малый Куйбас, 4 — Магнитогорское; II — Тургай: 5 — Елтай I, 6 — Елтай II, 7 — Елтай III, 8 — Елтай IV, 9 — Козыревка II, 10 — Лисаковское, 11 — Карасовское, 12 — Куржунгульское, 13 — Сорское; III — Восточный Саян: 14 — Хабалькское, 15 — Табрат

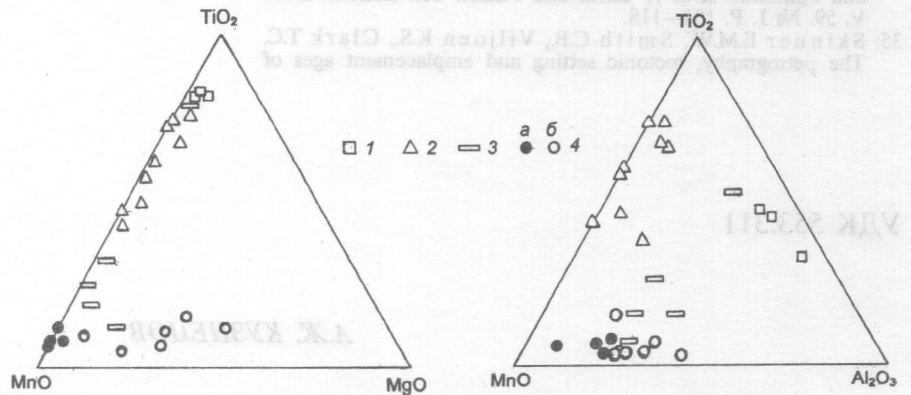


Рис. 2. Вариации содержаний элементов-примесей магнетитов в текстурных разновидностях руд Гороблагодатского месторождения: 1 — послонно-вкрапленные; 2 — «оспенные» магнетит-ортоклаз-пироксеновые; 3 — ритмично-слоистые; 4 — сплошные: а — однородной и полосчатой, б — пятнистой текстур

кие (1,68%) суммы других элементов-примесей в магнетитах «оспенных» пироксен-ортоклазовых руд, связанных с микросиенитами и сиенит-пифрирами.

Сходная закономерность отмечается для алюминия и кобальта. Для магнетита послонно-вкрапленных руд типичен алюминий ($0,82 \pm 0,38\%$). Количество алюминия в ритмично-слоистых рудах составляет $0,74 \pm 0,23\%$; в сплошных рудах — $0,56\%$. Для кобальта типично резкое возрастание содержания (0,06%) в послонно-вкрапленных рудах, по сравнению с 0,02% в ритмично-слоистых и 0,01% в сплошных.

Количество магния и марганца увеличивается от послонно-вкрапленных, ритмично-слоистых к сплошным рудам соответственно от 0,02 до 0,45% и от 0,15 до 1,7%.

Таким образом, на месторождении выявлены две группы магнетита: высокотитанистый с пониженным содержанием глинозема и марганца; низкотитанистый с повышенным количеством алюминия, марганца и магния. К первой группе в целом отнесен магнетит «оспенных» и послонно-вкрапленных руд. К ней довольно близки магнетиты ритмично-слоистых руд, ряд составов которых попадают в поле послонно-вкрапленных. Ко второй группе принадлежит магнетит сплошных руд, а также частично ритмично-слоистых. Кроме того, магнетит сплошных руд можно с бо-

льшой долей вероятности разделить по текстурным разностям: однородные и полосчатые — маломagneзиальные, пятнистые — относительно высокомагнезиальные (рис. 1).

Пересчет химических анализов на миалы (табл. 1) по методике [9] позволил определить основные кристаллохимические особенности магнетита. Алюминий и магний связаны в виде герцинит-магнетитового твердого раствора, характерного для всех типов руд, и шпинель-магнетитового твердого раствора, свойственного преимущественно сплошным и ритмично-слоистым

Исходя из концепции первично вулканично-осадочного рудогенеза представляется, что в ходе подводных вулканических и поствулканических процессов галоидное железо, попадая в морскую воду, диссоциировало и выделялось в виде коллоидной гидрооксидной взвеси [8]. Она при коагуляции преобразовалась в гетит, который при повышении температуры (50—130°C) переходил в гематит [6]. Эта взвесь, обладающая высокой сорбционной способностью, могла соосаждать заметные количества редких и рассеянных элементов, находящихся в морской воде или поступающих в

Таблица 1

Миалы (в %) магнетитов Гороблагодатского месторождения

Текстурная разновидность руд	Количество проб	Ульвошпинель	Шпинель	Герцинит	Магнезиоферрит	Кулсонит	Якобит	Магнетит
«Оспенные» Рх — Ог	9	4,01	0,05	0,09	0,05	0,11	1,68	94,10
Послойно-вкрапленные	3	2,99	0,12	1,74	0,00	-	0,50	94,40
Ритмично-слоистые	5	2,50	0,54	1,13	0,09	0,14	3,39	91,70
Сплошные:	11	0,74	0,64	0,92	1,68	0,04	4,76	90,30
однородные	3	0,59	0,12	1,29	0,00	0,10	4,91	92,90
полосчатые	2	0,59	0,00	1,90	0,00	0,06	3,96	93,50
пятнистые	6	0,87	1,18	0,42	3,08	0,00	6,29	88,10
Всего	28	2,35	0,39	0,78	0,69	0,07	3,44	92,20

Примечание. Миалы рассчитаны по результатам измерений на рентгеновском микроанализаторе «Самеса» в ИГиГ УГГА, аналитик В.Н. Ослоповских.

рудам. Конечные члены ряда — $FeAl_2O_4$ и $MgAl_2O_4$. Марганец присутствует в виде якобитового миала $MnFe_2O_4$, а весь титан входит в состав ульвошпинель-магнетитового твердого раствора $Fe_2TiO_4-Fe_3O_4$. Типичный для восстановительных условий, в значительном количестве присутствующий на месторождениях Сибири [1] магнезиоферрит-магнетитовый твердый раствор ($MgFe_2O_4-Fe_3O_4$) не характерен для рассматриваемого месторождения, проявляется в единичных случаях среди сплошных руд.

Парные коэффициенты корреляции (табл. 2) свидетельствуют о наличии значимых положительных связей $Ti^{4+}-Fe^{2+}$, $Fe^{3+}-Mn^{2+}$, Mg^{2+} , $Mn^{2+}-Mg^{2+}$; отрицательных связей $Ti^{4+}-Fe^{3+}$, $Fe^{2+}-Fe^{3+}$, $Fe^{2+}-Mn^{2+}$, Mg^{2+} , а также отсутствие связи ванадия с выше упомянутыми элементами, содержание которых возрастает иногда на порядок, а ванадия практически не изменяется. Анализ полученных данных позволяет предположить, что колебания содержаний элементов-примесей в магнетитах обусловлены влиянием различных процессов.

Таблица 2

Парные коэффициенты корреляции элементов-примесей в магнетитах Гороблагодатского месторождения

Компонент	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	V_2O_3	FeO	MnO	MgO
TiO_2	1	-0,38	-0,47	0,03	0,69	-0,50	-0,36
Al_2O_3		1	-0,05	-0,19	-0,12	0,30	0,05
Fe_2O_3			1	-0,13	-0,56	0,49	0,42
V_2O_3				1	0,10	-0,12	-0,27
FeO					1	-0,73	-0,74
MnO						1	0,58
MgO							1

нее в результате вулканических эманаций. В результате в железистом осадке накапливались марганец, ванадий, кобальт и другие элементы [8].

С понижением вулканической активности возрастала роль экзогенных процессов, что отразилось на концентрациях таких элементов, как титан и алюминий, попавших в рудный осадок при разрушении горных пород [6], вследствие чего произошло обогащение этими элементами ритмично-слоистых и послойно-вкрапленных руд, в которых по результатам макро- и микроскопического исследования последовательно возрастает количество осадочного материала.

На состав магнетита влияют более поздние наложенные процессы. В частности, с развитыми на месторождении дайками микросиенитов и сиенит-порфиоров ассоциируют «оспенные» руды. Их микроскопическое изучение показало наличие крупнозернистого магнетита (по сравнению с другими рудами) удлиненно-лапчатой формы. В центральных частях даек установлены изометричные зерна магнетита. Отмечены закономерные срастания магнетита с калиевым полевым шпатом, а в отдельных случаях с пироксеном, свидетельствующие о переработке руд [2]. Высокие содержания TiO_2 и низкие MnO, Al_2O_3 , MgO свидетельствуют о высокотемпературных условиях, низком парциальном давлении кислорода и малой активности щелочей [13]. В таких условиях происходила отгонка большинства элементов-примесей с одновременным увеличением концентрации титана, замещающего трехвалентное железо в шестерной координации: $2Fe^{3+} = Fe^{2+} + Ti^{4+}$ (часть Fe^{2+} занимает тетраэдрические позиции в структуре минерала) [14]. При охлаждении системы, которое, по-видимому, шло со скоростью, позволяющей выделяться самостоятельным фазам, образуются структуры распада, обнаруженные при микроскопическом изучении

аншлифов и под электронным микроскопом. В продуктах распада чаще всего оказывается ульвошпинель, обычно окисляющаяся до ильменита, что приводит к появлению вторичных структур распада [12]. Как правило, этот процесс был локальным.

Внедрение Кушвинской сиенитовой интрузии, сопровождаемое контактово-метасоматическими процессами, вероятно, повлияло на перераспределение как железа, так и элементов-примесей в целом на месторождении. Под влиянием температуры первичный гематит преобразовывался сначала в мушкетовит, который встречается довольно часто на месторождении, а затем в магнетит [3]. Наряду с этим изменялись содержания элементов-примесей в новообразованных минералах. Алюминий замещал Fe^{2+} в шестерной координации. При этом условии, вероятно, Mg^{2+} и часть Fe^{2+} должны были находиться в четверной координации или замещать часть Fe^{3+} [11]. Марганец, сходный по многим кристаллохимическим

характеристикам с Fe^{2+} и Mg^{2+} , мог образовывать твердые растворы [15], которые при последующем понижении температуры, формировали структуры распада: яacobсит-, герцинит-магнетит и др.

При микроскопическом изучении сплошных руд выявлен наложенный процесс — хлоритизация руд, в результате которой в межзерновом пространстве появился железистый хлорит — шамозит. В участках наибольшего развития последнего, в частности, магнетиты в сплошных рудах с однородной текстурой обогатились магнием, что привело к образованию структур распада шпинель-магнетит, редко магнезиоферит-магнетит (твердый раствор).

Таким образом, распределение элементов-примесей в магнетитах неоднократно изменялось в течение формирования Гороблагодатского месторождения. На характер распределения элементов-примесей повлияли многочисленные факторы, приведшие к концентрации одних элементов и рассеиванию других.

ЛИТЕРАТУРА

- Вахрушев В.А., Воронцов А.Е., Соломонова Л.А. О химическом составе магнетитов из железорудных месторождений юга Сибирской платформы // Докл. АН СССР. 1974. 216. № 6. С. 1376—1378.
- Вахрушев В.А. Рудные минералы изверженных и метаморфических пород (справочное пособие) М.: Недра, 1988. 230 с.
- Вулканогенно-осадочные железорудные месторождения складчатых областей / Я.Н. Белевцев и др. Киев: Наук. думка, 1982. 188 с.
- Геология СССР. Т. XII. Полезные ископаемые / Под ред. А.В. Сидоренко М.: Недра, 1973. 632 с.
- Дымкин А.М. Петрология и генезис магнетитовых месторождений Тургая. Новосибирск: Наука, 1966. 150 с.
- Зайкова Е.В. Кремнистые породы офиолитовых ассоциаций (на примере Мугоджар) М.: Наука, 1991. 131 с.
- Кузнецов А.Ж. Ритмично-слоистые магнетитовые руды Гороблагодатского железорудного месторождения на Среднем Урале // Изв. УГГА. Сер. геология, геофизика. 2001. В. 13. С. 140—142.
- Лисицин А.П. Подводный вулканизм океанов — значения для рудообразования и геохимии Земли // Металлогения древних и современных океанов—97. Процессы рудообразования. Миасс: Имин УрО РАН, 1997. С. 16—19.
- Малахов И.А. Расчет формул минералов и использование их типохимизма для выявления генетической природы и формационной принадлежности пород. Екатеринбург, 2002. 227 с.
- Овчинников Л.Н. Контактво-метасоматические месторождения Среднего и Северного Урала // Тр. Горно-геол. ин-та УФАИ СССР. 1960. В. 39. 495 с.
- Парагенезисы микроэлементов магнетита. / С.А. Щека и др. М.: Наука, 1980. 145 с.
- Рамдор П. Рудные минералы и их сростание. М.: Недра, 1962. 1132 с.
- Рокачев С.А. Распределение элементов-примесей в магнетитовых месторождениях Тургая // Минералогия и геохимия железорудных месторождений Урала, 1974. С. 100—108.
- Чернышева Л.В., Зайцева Г.М., Герасимовский В.И. Кристаллохимия магнетита, его магнитные свойства и физико-химические условия образования // Минералогия и геохимия железорудных месторождений Урала. Свердловск, 1974. С. 3—17.
- Щербина В.В., Урусов В.С., Герасимовский В.И. Изоморфные пути марганца // Геохимия. 1971. №12. С. 1403—1411.

Уральская государственная
горно-геологическая академия
Рецензент — Л.Д. Оникиенко

УДК 549.2./:8:553.3/4:553.491.8.04(47+53)

Н.М. ЧЕРНЫШОВ, С.П. МОЛОТКОВ, С.В. ПЕТРОВ, Н.В. ПОПКОВА

ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ И ФОРМЫ НАХОЖДЕНИЯ ПЛАТИНОИДОВ И ЗОЛОТА В ЖЕЛЕЗИСТЫХ КВАРЦИТАХ МИХАЙЛОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КМА

Приведены новые оригинальные данные об особенностях распределения благородных металлов (прежде всего платиноидов) в железистых кварцитах Михайловского месторождения КМА, в широко развитых среди железорудных толщ золото-платино-палладийсодержащих кварцевых, кварц-сульфидных и пирит-пирротиновых зонах минерализации и метасоматитов, а также в техногенных продуктах (хвостоотвалах) переработки железных руд.

Железистые кварциты, слагающие крупные и уникальные месторождения и обеспечивающие 58% мировой добычи железных руд, включают около 5% от общего числа промышленных золо-

торудных объектов [12, 13]. Важнейшие, но мало исследованные компоненты золотоносных железистых кварцитов — элементы платиновой группы (ЭПГ), содержание которых в ряде случаев до-