

Первые данные о составе магнетита золото-скарновых месторождений Восточного Забайкалья по данным ЛА ИСП МС

Горнодобывающие работы на территории Восточного Забайкалья происходят на протяжении 300 лет, а регион считается одним из важнейших источников различных видов минерального сырья в России. Значительная часть объема самородного золота (добытого и прогнозного) пространственно и генетически связана со скарнами [Петухов и др., 2003]. Поэтому детальное изучение каждого отдельно взятого элемента или минерала, как и всей скарновой рудообразующей системы, необходимо для понимания механизмов рудообразования всего региона.

В работе приводятся новые данные о составе магнетита из крупных золото-скарновых месторождений Восточного Забайкалья, полученные методом ЛА ИСП МС. Целью работы является выявление сходств и отличий магнетита этих месторождений на основе особенностей их химического состава.

Для исследований были отобраны зерна магнетита из руд Быстринского, Култуминского и Лугоканского месторождений. Образцы представлены фрагментами керна буровых скважин и образцами из открытых горных выработок. ЛА ИСП МС анализы проводились в Центре Гельмгольца (г. Потсдам, Германия) с использованием эксимерного лазера Geolas Complex Pro 193 nm, соединенного с масс-спектрометром Termo iCAP TQ. Размер пучка 44 мкм, частота повторения 8 Гц и плотность энергии лазера 5 Дж/см². В качестве внешнего стандарта использовался NIST SRM 610.

Au-Cu-Fe скарновые месторождения Восточного Забайкалья расположены в пределах Ага-Борзинской структурно-формационной зоны Монголо-Охотского орогенного пояса и приурочены к Газимуровской региональной тектонической зоне. Эта зона представлена сложной системой сопряженных разломов [Спиридонов и др., 2006]. Рудовмещающими толщами являются кембрийско-девонские терригенно-карбонатные и раннеюрские терригенные отложения, прорывающиеся юрскими интрузивами.

Сходство минерализации изучаемых месторождений проявлено в многостадийности гидротермально-метасоматических процессов и повторении ряда характерных минеральных ассоциаций. К ним относятся золото-магнетит-пирит-халькопиритовая, золото-пирит-пирротин-арсенопирит-халькопиритовая, кварц-молибденитовая, золото-полиметаллическая и золото-висмутовая. Следует отметить, что масштабы проявления минеральных ассоциаций на каждом месторождении сильно отличаются. Так, например, на Быстринском месторождении наиболее распространены золото-магнетит-пирит-халькопиритовая и золото-пирит-арсенопирит-халькопиритовая ассоциации при подчиненном значении золото-полиметаллической и золото-висмутовой. На Култуминском месторождении преобладают золото-магнетит-пирит-халькопиритовая и золото-полиметаллическая ассоциации, в то время как золото-пирит-халькопирит-арсенопиритовая и золото-висмутовая минеральные ассоциации менее распространены. На Лугоканском месторождении доминирующую роль принадлежит золото-пирит-халькопирит-арсенопиритовой (пирит-пирротин-халькопиритовые, пирит-арсенопиритовые, пирит-халькопирит-арсенопиритовые, пиритовые руды) и золото-висмутовой ассоциациям. Другие минеральные ассоциации (золото-полиметаллическая,

кварц-молибденитовая и золото-магнетит-пирит-халькопиритовая) встречаются реже. В целом, кварц-молибденитовая минерализация на всех трех месторождениях редка и промышленного интереса не представляет [Редин и др., 2018].

Распределение элементов-примесей в магнетите руд исследованных месторождений неравномерное (табл.). Для магнетита из руд Култуминского месторождения характерен относительно выдержанный состав и более низкие содержания элементов-примесей (здесь и далее даны средние значения, г/т): Mn (347), Co (25), Ni (27), Al (498) и Ga (1408) по сравнению с магнетитом руд из других месторождений. Магнетит Лугоканского месторождения имеет более высокие содержания Sn (122 г/т) и Zn (535 г/т) по сравнению с другими месторождениями, в то же время он имеет сходство с магнетитом из руд Быстринского месторождения по содержаниям Al (8047 г/т), Mn (1372 г/т) и Ti (311 г/т), а по содержаниям Cr (100 г/т) и Co (35 г/т) – с магнетитом из руд Култуминского месторождения. Разные содержания элементов-примесей наблюдаются в магнетите руд северо-восточной и юго-западной частей Быстринского месторождения. Магнетит северо-восточной части месторождения (участки Быстринский-2 и Южно-Родственный) характеризуется повышенными содержаниями (г/т) Mg (31670), Mn (3968), Al (10180), V (190), Ti (416), Sn (24) и Zn (319). Магнетит из руд юго-западной части (участки Верхне-Ильдиканский и Малый Медный Чайник) обеднен этими элементами на фоне обогащения Ni (224 г/т) и Ca (240 г/т).

Результаты исследования химического состава магнетита из руд золото-медно-железно-скарновых месторождений Восточного Забайкалья изображены на дискриминационных диаграммах. На диаграмме (Ca+Al+Mn)–(Ti+V) [Dupius, Beaudoin, 2011] видно, что магнетит руд всех месторождений попадает в поле распространения скарновых месторождений, а магнетит руд из Култуминского месторождения обеднен Ti и V

Т а б л и ц а

Средние содержания элементов-примесей в магнетите руд из золото-скарновых месторождений Восточного Забайкалья (г/т)

Элементы	Месторождения					
	Култуминское	Лугоканское	Быстринское			
			Быстринский-2	Южно-Родственный	Малый Медный Чайник	Верхне-Ильдиканский
Mg	3635	5240	31425	31670	1542	4194
Al	498	8047	10180	2151	1237	1132
V	27	39	105	190	49	50
Cr	87	100	н.д.	9	13	14
Mn	347	1372	3070	3968	648	666
Ti	44	311	332	416	88	163
Co	25	35	189	268	197	78
Ni	27	н.д.	71	80	224	152
Zn	138	535	219	319	82	165
Ga	22	35	48	82	39	40
Ca	1408	1590	240	н.д.	273	550
Sn	19	122	23	24	10	10

Примечание. Количество анализов для каждого месторождения (участка) – 10 шт.; н.д. – нет данных.

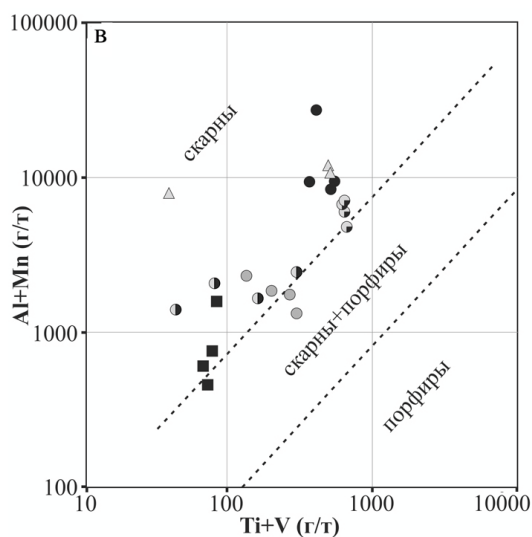
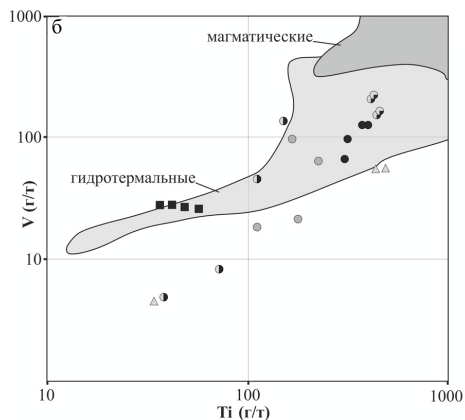
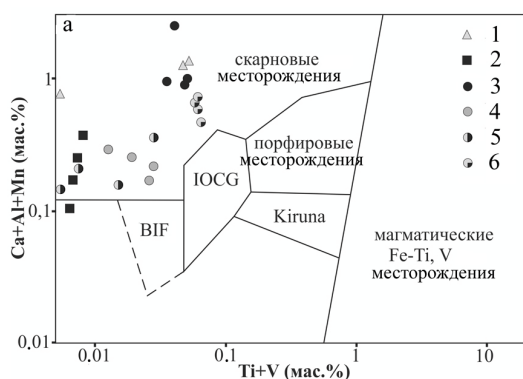


Рис. Дискриминационные диаграммы магнетита:

а – BIF – полосчатые железные руды, IOCG – окисленные железно-медно-золотые месторождения, Kiruna – тип апатит-магнетитовых месторождений [Dupius, Beaudoin, 2011]; б – поля магнетита магматического и гидротермального генезиса [Sun et al., 2019]; в – магнетит скарновых и порфировых систем [Nadoll et al., 2015].

Месторождения и участки: 1 – Лугоканское, 2 – Култуминское, 3 – участок Быстринский, 4 – участок Верхне-Ильди́канский, 5 – участок Малый Медный Чайник, 6 – участок Южно-Рождественный.

по сравнению с магнетитом других месторождений (рис. а). Магнетит из руд Култуминского месторождения имеет выдержанный состав, в то время как магнетит из руд Лугоканского и Быстринского демонстрирует широкие вариации содержаний Ca, Al, Mn, Ti и V. Диаграмма V–Ti [Sun et al., 2019] показывает, что магнетит из руд месторождений связан с гидротермальными процессами (рис. б). Диаграмма (Al+Mn)–(Ti+V) (рис. в) [Nadoll et al., 2015] также указывает на преимущественно скарновое происхождение. Некоторые исследователи считают данную интерпретацию геохимических данных более точной, т.к. в расчетах не учитывается Ca, на содержания которого могут влиять включения в магнетите [Dupius, Beaudoin, 2011]. Часть анализов попадает в транзитную зону (скарны+порфиры), наличие которой не подразумевает обязательное наличие порфирового типа оруденения, а указывает на отсутствие точных геохимических границ между скарновыми и порфировыми оруденениями [Nadoll et al., 2015]. В данную зону попадает часть анализов магнетита руд из Култуминского и Быстринского (участок Верхне-Ильди́канский) месторождений. Магнетит из руд Култуминского месторождения демонстрирует узкую вариативность значений, а магнетит руд из Лугоканского и Быстринского месторождений формирует два отдельных тренда.

Сравнительный анализ содержаний элементов-примесей магнетита из рудной ассоциации золото-скарновых месторождений Восточного Забайкалья показывает, что магнетитовые руды сформированы в ходе гидротермальных процессов и характерны для скарнового типа месторождений. Магнетит из руд Култуминского месторождения отличается выдержанным составом и обеднен элементами-примесями по сравнению с магнетитом руд Быстринского и Лугоканского месторождений. Быстринское месторождение характеризуется малой вариацией химического состава магнетита в рамках отдельных участков, но значительными вариациями при рассмотрении всего месторождения. В целом, все три ведущих золото-скарновых месторождения Восточного Забайкалья имеют общую скарновую природу формирования, однако даже в рамках каждого месторождения наблюдаются значительные вариации химического состава магнетита.

Работа выполнена по государственному заданию ИГМ СО РАН.

Литература

Петухов В.М., Харитонов Ю.Ф., Четкин В.С., Шевчук Г.А., Туляков В.Е. Современное состояние, перспективы развития и освоения минерально-сырьевой базы золотодобывающего комплекса Читинской области // Мат. межрегион. науч.-практ. конф. «Перспективы развития золотодобычи в Забайкалье». Чита, 2003. С. 8–11.

Редин Ю.О., Мокрушников В.П., Редина А.А., Неволько П.А., Колтаков В.В. Золото-медно-железо-скарновые месторождения Восточного Забайкалья: типы, минеральный состав, возраст и условия формирования // Рудно-магматические системы. Магматизм, металлогения и тектоника Северной Азии. Сб. науч. тр. по фонд. исс. Института геологии и минералогии СО РАН. Новосибирск, 2018. С. 83–90.

Спирidonov А.М., Зорина Л.Д., Китаев Н.А. Золотоносные рудно-магматические системы Забайкалья. Новосибирск: Гео, 2006. 291 с.

Dupuis C., Beaudoin G. Discriminant diagrams for iron oxide trace element fingerprinting of mineral deposit types // Mineralium Deposita. 2011. Vol. 46. Is. 4. P. 319–335.

Nadoll P., Mauk J.K., Leveille R.A., Koenig A.T. Geochemistry of magnetite from porphyry Cu and skarn deposits in the southwestern United States // Mineralium Deposita. 2015. Vol. 50. Is. 4. P. 493–515.

Sun W., Yuan F., Jowitt S.M., Zhou T., Liu G., Li X., Wang F., Troll V.R. In situ LA-ICP-MS trace element analyses of magnetite: genetic implications for the Zhonggu orefield, Ningwu volcanic basin, Anhui Province, China // Mineralium Deposita. 2019. Vol. 54. Is. 8. P. 1243–1264.

А.Н. Некипелова¹, С.Н. Кох¹, Э.В. Сокол¹, О.А. Козьменко¹, Д.А. Артемьев²

*¹ – Институт геологии и минералогии СО РАН, г. Новосибирск
nekipelova@igm.nsc.ru*

*² – Южно-Уральский федеральный научный центр минералогии
и геоэкологии УрО РАН, Институт минералогии, г. Миасс*

Аутигенные фосфаты Fe²⁺ и Са–Fe²⁺ из керченских железных руд: РЗЭ + Y характеристики и условия образования

Месторождения киммерийских оолитовых железных руд на Керченском полуострове (Камыш-Бурун, Кыз-Аул, Эльтиген-Ортель) систематически изучались и разрабатывались с 20–30 гг. XX века. Палеогеографическая обстановка на территории северного Причерноморья в среднем киммерии способствовала миграции и масштабной