

УДК 553.41:553.46

ЗОЛОТО И СЕРЕБРО В РУДАХ КАЛГУТИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ГОРНЫЙ АЛТАЙ)

Д.И. Бабкин, А.А. Поцелуев, Ю.С. Ананьев

Томский политехнический университет

E-mail: PoceluevAA@ignd.tpu.ru

В рудах Калгутинского редкометалльного грейзенового месторождения (Горный Алтай) изучены формы нахождения золота и серебра. Золото установлено в рудах в форме кюстелита, при изучении на электронном микроскопе определены микровключения самородного золота в пирите, вольфрамите, халькопирите. Выявлены самородные выделения серебра в молибдените и висмутине. Впервые в зернах висмутина диагностирован селенид серебра – науманнит (Ag₂Se).

Ключевые слова:

Золото, серебро, науманнит, редкометалльные месторождения, электронная микроскопия.

Key words:

Gold, silver, naumannite, rare metals deposits, electronic microscope.

Введение

Высокие концентрации благородных металлов выявлены во многих редкометалльных и медно-молибден-порфиновых месторождениях Сибири, Монголии, Казахстана, Узбекистана. В последние годы все более пристальное внимание обращается на нетрадиционные источники благородных металлов [1–6]. Определяется это в первую очередь совершенствованием технологии и перспективой их попутного извлечения в условиях роста спроса и цен. Необходимо также подчеркнуть недостаточную изученность геохимии и минерагении благородных металлов. Решение этих вопросов весьма актуально во всех отношениях и, особенно в связи с развитием мантийно-коровой и плюм-тектонической моделей рудогенеза [7, 8].

Калгутинское месторождение является представителем молибдено-редкометалльно-вольфрамовой рудной формации, которые широко распространены в пределах Горного Алтая. Вместе с тем, на месторождении на заключительных стадиях формирования редкометалльного оруденения в тех же тектонических структурах проявилась масштабная сульфидно-сульфосольная минерализация.

Месторождение приурочено к одноименному массиву лейкократовых редкометалльных позднегерцинских гранитов. По данным изотопно-геохимических исследований установлено, что формирование гранитов, внутрирудных даек калгутитов и жильно-грейзенового оруденения происходило в узком временном интервале 213...202 млн л. Отмечается сложный характер взаимоотношения даек калгутитов с рудными жилами и грейзеновыми телами, указывающий на близкое время формирования тех и других. Изотопная (⁸⁷Sr/⁸⁶Sr) характеристика калгутинских гранитов, калгутитов, другие минералого-геохимические данные подчеркивают значительную роль мантийных процессов в формировании флюидно-магматической системы месторождения [9].

Оруденение представлено серией крутопадающих вольфрамит-молибденит-кварцевых жил с халькопиритом, висмутином, бериллом. Длина жил колеблется от первых десятков до 1000 м при

мощностях, редко превышающих 1 м. Вертикальная амплитуда оруденения превышает 500 м. Жилы сопровождаются грейзеновой оторочкой мощностью до 0,5 м. Отмечаются изолированные участки грейзенов, в форме линейных зон, раздувов и столбообразных тел типа «Мо-шток». На месторождении учтены запасы W, Mo, Be, Cu и Bi.

В развитии Калгутинской рудно-магматической системы выделяется 2 этапа и 5 стадий.

Первый дорудный этап парагенетически связан с порфировидными биотитовыми гранитами I фазы внедрения и включает одну турмалин-вольфрамит-кварцевую стадию.

Второй главный этап рудообразования включает два подэтапа. Первый подэтап включает стадию формирования автономного грейзенового оруденения типа «Мо-шток», парагенетически связанного с внедрением гранит-порфиоров II фазы.

Второй основной подэтап рудообразования объединяет последовательно образования редкометалльно-гюбнерит-кварцевой, сульфосольно-сульфидно-кварцевой и заключительной карбонат-кварцевой стадий минералообразования. Образования сульфидно-сульфосольно-кварцевой стадии преимущественно телескопированы в более ранние структуры с образованием сложных по составу сульфидно-сульфосольно-редкометалльно-гюбнерит-кварцевых жил, которые и явились основным объектом исследований. В пределах этого подэтапа происходило внедрение внутрирудных штоков и даек калгутитов, микрогранит-порфиоров.

На протяжении весьма длительного периода с момента открытия месторождения многими исследователями отмечалось самородное золото и высокие содержания Au и Ag в рудах месторождения и в некоторых рудопроявлениях района.

Нами с привлечением различных методов анализа проведены специальные исследования руд и различных геологических образований месторождения на широкий спектр химических элементов, включающих группы редких, радиоактивных, редкоземельных элементов и благородных металлов [9].

Исследования форм нахождения благородных металлов в различных минералах геологических образований Калгутинского рудометаллического месторождения проводилось в лаборатории электронно-оптической диагностики Международного инновационного научно-образовательного центра «Урановая геология» кафедры геоэкологии и геохимии Томского политехнического университета на электронном сканирующем микроскопе Hitachi S-3400N с энергодисперсионным спектрометром EDX Bruker. Исследования проводились во вторичных и обратно-рассеянных электронах, кроме стандартного определения элементного состава в точке применялся и режим картирования.

Основные результаты исследований и их обсуждение

Выполненные исследования показывают, что в составе руд Калгутинского месторождения отмечаются высокие содержания Au до 0,05 г/т и Ag до 41 г/т. Помимо рудных тел, высокие содержания благородных металлов отмечаются в околожилльных грейзенах, альбитизированных гранит-порфирах и измененных дайках калгутитов [9]. Распределение элементов крайне неравномерно, коэффициент вариации *V*, как правило, превышает 100 %.

По содержанию благородных металлов заметно выделяются альбитизированные гранит-порфиры. Их образование непосредственно предшествовало

формированию редкометалльно-гюбнерит-кварцевых и сульфосолюно-сульфидно-кварцевых жил третьей главной продуктивной стадии рудообразования. Наиболее высоким содержанием золота характеризуются гидротермально измененные внутрирудные дайки калгутитов. Среди рудоносных образований наибольшими концентрациями благородных металлов выделяются кварцевые жилы. Более высокие содержания Au в измененных гранит-порфирах и калгутитах, по сравнению с жилами и околожилльными грейзенами, указывают на высокие перспективы выявления в районе благороднометалльного оруденения в связи с этими магматическими образованиями.

Основные минералы руд (вольфрамит, молибденит, халькопирит, пирит, висмутин и др.) контрастно отличаются по содержанию благородных металлов [9]. Среди минералов заметно выделяется пирит рудных жил, содержание золота в котором (54 мг/т) значительно выше, чем в пирите Мо-штока. Интересной является информация о содержании элемента в кварце различных геологических образований. Наиболее золотоносным является кварц альбитизированных гранит-порфиров. Все данные подчеркивают связь золотой минерализации с формированием сульфосолюно-сульфидно-кварцевого оруденения.

Золото обнаружено в двух самостоятельных минеральных формах: мелкие зерна кюстелита (проба

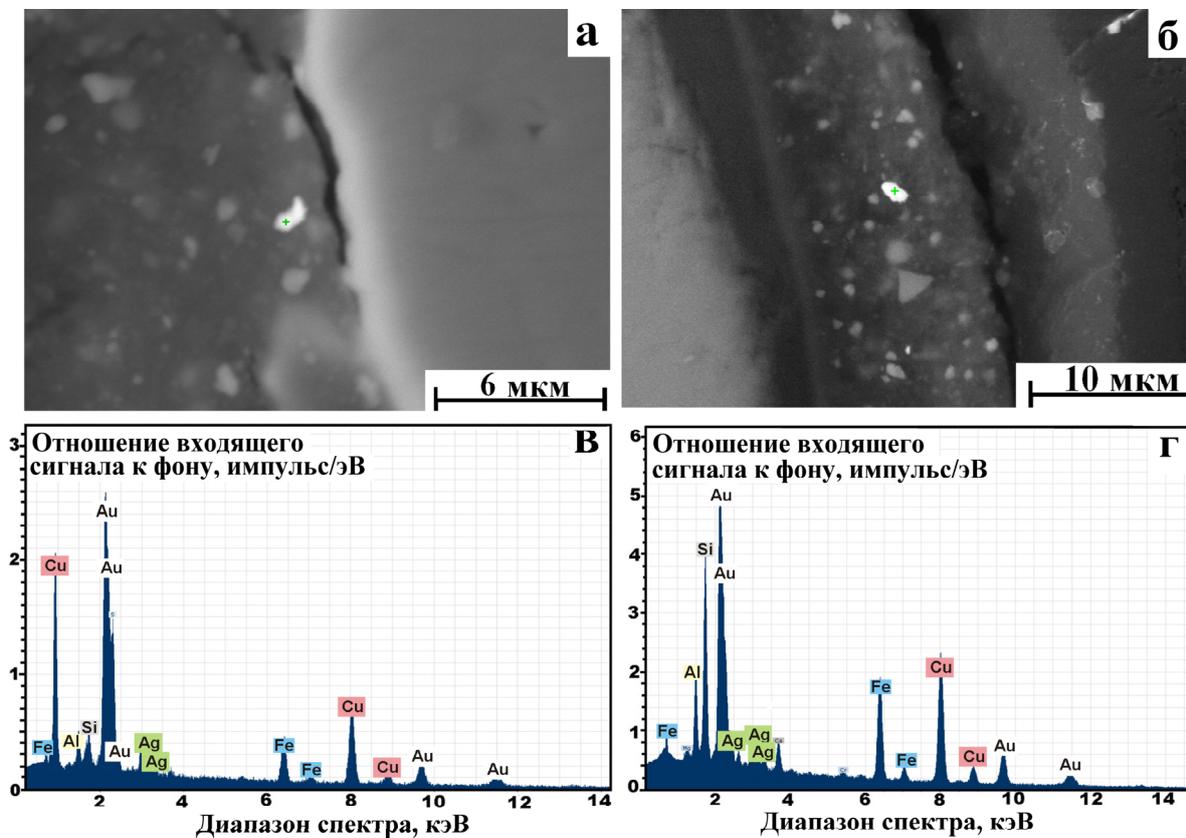


Рис. 1. Зерна самородного золота в вольфрамите Мо-штока-1 (а) и его спектр (в) и в пирите (б) и его спектр (г)

– 300...150 ‰, основные примеси Cu и Ag), самородное тонкое золото высокой пробы (964...835 ‰, основные примеси – Ag, Cu, Hg, Te). В зернах золота отмечается закономерное изменение пробыности. В центре зерна пробаность выше на 1...7 ‰, в то время как в краевой части – возрастает содержание примесей [9].

По данным электронной микроскопии установлены микровключения самородного золота в основных рудных минералах – пирите, халькопирите, вольфрамите.

В пирите Мо-штока-1 золото выявлено в виде включений размерами до 2 мкм, пробаность до

600 ‰, в качестве основных примесей содержится серебро (до 15 %) и медь (до 27,5 %) (рис. 1). Наблюдается закономерность в уменьшение пробыности золота от центра к краю (до 296 ‰). Ближе к краям зерна появляется большее количество примесей Cr, Mn, Fe, Cu.

В вольфрамите Мо-шток-1 золото так же отмечается в виде самостоятельной минеральной формы. Размер включений минерала до 1,5 мкм (рис. 1, б, з). Содержание золота 600 ‰, серебра – 15 ‰, меди – 25 ‰. От центра к краю зерна падает пробаность золота, и появляется большее количество примесей (Cl, Fe, Ca, Cu, Mg).

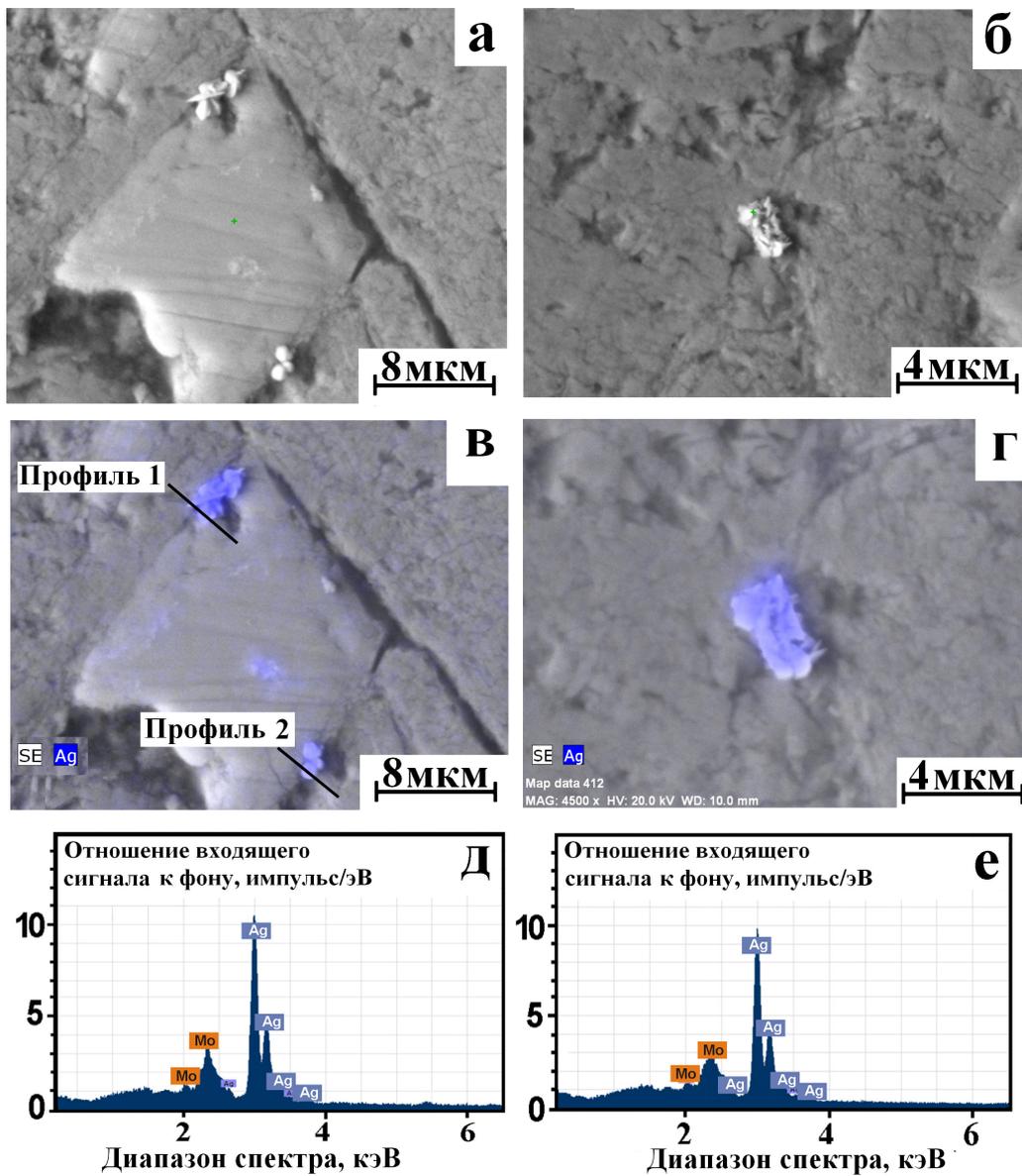


Рис. 2. Выделения самородного серебра в молибдените жилы № 87 (а), Мо-штока-1 (б), в режиме картирования (в, г) и энергодисперсионные спектры (д, е)

В халькопирите Мо-шток-1 золото диагностируется в виде примеси, с максимальной концентрацией до 15,5 % совместно с Sr, Si, Al.

В халькопирите жилы № 87 на нижнем горизонте золото встречается в виде микровключений размером до 2,0 мкм. Пробность золота 535 ‰, содержание серебра 10,4 %, что несколько ниже, чем в золоте из пирита и вольфрамита. Ближе к краям золотин пробность падает и появляется большое количество примесей.

Серебро накапливается главным образом в сульфидах и сульфосолях, где его концентрация достигает многих процентов. Максимальные содержания Ag отмечаются в павоните – 7,3 %, купробисмутине – 1,2 %, гладите – 0,14 %. Высокое содержание Ag характерно для зерен графита (до 0,14 %), что вероятно обусловлено микровключениями собственных минералов. Из других рудных минералов высокие содержания элемента отмечаются в молибдените (до 0,26 %), халькопирите (до 0,2 %), пирите (до 0,03 %). Серебро является основной примесью в высокопробном золоте, где его содержание достигает 16 %. Детальное изучение рудных минералов под электронным микроскопом позволило диагностировать Ag практически во всех рудных минералах.

В молибдените, висмутине и на контакте их зерен Ag выявлено в самородной форме, в виде мелких чешуек (розеток), листочков, дендритов, глобулей (рис. 2).

Изучение изменения содержания элементов по профилю, проходящему от висмутита через самородное серебро к молибдениту, показывает следующее (рис. 3, табл.). Высокие содержания Ag в виде примеси отмечаются как в молибдените, так и в висмутине, но в висмутине его содержание выше. При этом к границам зерен этих минералов концентрация Ag значительно возрастает. Необходимо подчеркнуть более высокое содержание Se (до 4,2 %) в висмутине, чем в молибдените.

Впервые в висмутине выявлены нитевидные выделения минерала, диагностированного как науманнит, имеющего состав Ag_2Se с содержанием Se до 27 % (рис. 4). Это согласуется с данными о более высоком содержании Ag и Se в висмутине по отношению к другим рудным минералам.

Таблица. Содержание элементов по профилю № 1 и 2

№ профиля	№ точки	Элемент, %				
		S	Mo	Ag	Bi	Se
1	1	28,4	–	0,7	66,7	4,2
	2	31,2	–	6,2	62,6	–
	3	18,1	33,6	22,1	26,3	–
	4	24,5	48,9	2,1	24,5	–
	5	21,4	49,0	–	29,6	–
2	1	32,0	68,0	–	–	–
	2	25,3	63,5	11,2	–	–
	3	18,4	31,2	27,5	22,9	–
	4	11,9	40,3	21,3	23,5	3,0
	5	29,4	–	0,9	65,7	4,0

Повышенные содержания благородных металлов отмечаются в различных концентратах, получаемых при обогащении руд. Содержание золота в товарных концентратах вольфрамита и молибденита низкое (0,01 г/т), в основном оно накапливается в сульфидных отходах (5,0 г/т), образующихся при получении вольфрамитового концентрата. Серебро также в основном остается в сульфидных отходах (67...70 г/т), как в виде примеси, так и, очевидно, в самородном виде и в виде науманнита. Установление форм нахождения золота и серебра в рудах позволяет наметить способы и оценить перспективы их попутного извлечения на разных этапах технологической цепочки переработки руд и концентратов.

Высокие содержания Au и Ag в рудах и концентратах Калгутинского месторождения не являются исключительным фактом. Так, высокие содержания элементов выявлены в рудах, концентратах

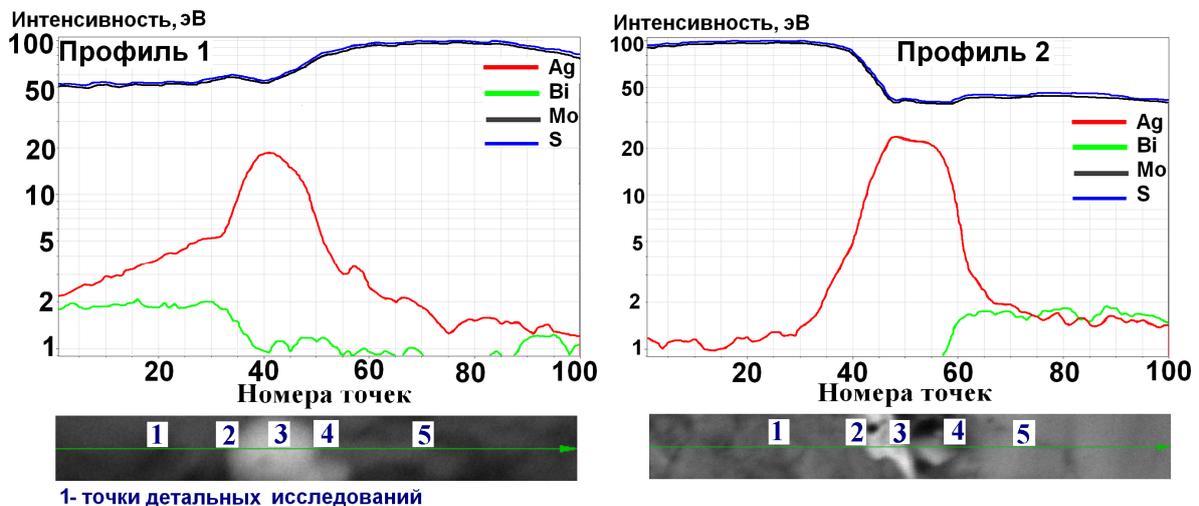


Рис. 3. Изменения содержания основных элементов в профиле при переходе от висмутита через глобулы самородного серебра к молибдениту (профиль 1, рис. 2, в) и при переходе от молибденита через розетки самородного серебра к висмутину (профиль 2, рис. 2, в)

и минералах многих постмагматических и гидротермальных месторождений, в том числе молибдено-редкометалльно-вольфрамовой рудной формации [1–6, 10].

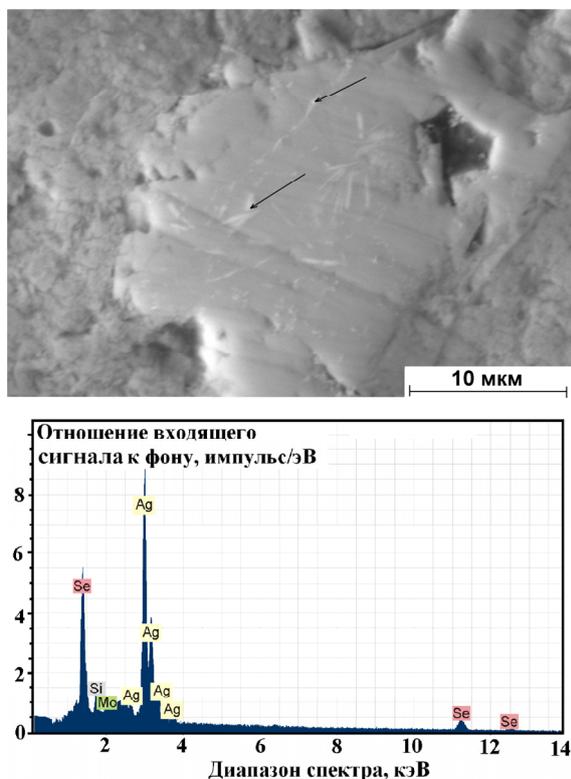


Рис. 4. Нитевидные выделения науманнита (показаны стрелкой) в висмутине и его энергодисперсионный спектр

Вместе с тем, совокупность установленных фактов в соответствии с представлениями Н.Л. Добрецова, Ф.А. Летникова [7, 8, 11] указыва-

ют на глубинный мантийно-плюмовый характер флюидно-магматической системы Калгутинского месторождения. Об этом свидетельствуют – высокие концентрации благородных металлов, их приуроченность к основному этапу рудообразования, наличие предшествующих основному этапу формирования оруденения малых тел гранит-порфиров и внутрирудных даек калгутитов, особенности геохимического спектра которых отражают влияния мантийных процессов.

Выводы

Установлено, что геологические образования Калгутинского редкометалльного грейзенового месторождения (Горный Алтай) характеризуются повышенными содержаниями Au и Ag. Золото определено в виде двух минеральных форм: кюстелита и самородного. Самородное золото в виде микровключений (до 2 мкм) зафиксировано в вольфрамите, пирите и халькопирите. Серебро входит в состав сульфидов и сульфосолей (до 7,3 %), а также является основной примесью в золоте. Самородное серебро диагностировано на границах висмутина и молибденита. В качестве примеси Ag отмечается в пирите, висмутине, вольфрамите, халькопирите, молибдените. Впервые в рудах месторождения диагностирован селенид серебра – науманнит (Ag_2Se), нитевидные выделения которого найдены в висмутине.

Выявленные формы нахождения золота и серебра указывают на повышенные концентрации этих элементов в рудообразующих флюидах на различных этапах и стадиях минералообразования.

Полученные данные позволяют наметить способы и оценить перспективы попутного извлечения Au и Ag на разных этапах технологической цепочки переработки руд и концентратов.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 10–05–00115.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беспаяев Х.А., Париллов Ю.С., Пучков Е.В. и др. Элементы примеси в месторождениях Казахстана: Справочник / под ред. А.А. Абдуллина и др. – Алматы: ИАЦ ГЭИПР РК, 1999. – Т. 2. – 161 с.
2. Коробейников А.Ф. Нетрадиционные золото-редкометалльные месторождения складчатых поясов. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, НИЦ ОИГГМ, 1999. – 237 с.
3. Коробейников А.Ф., Грабежев А.И. Золото и платиновые металлы в медно-молибден-порфировых месторождениях // Известия Томского политехнического университета. – 2003. – Т. 306. – № 5. – С. 24–32.
4. Рудные месторождения Узбекистана / Отв. редактор И.М. Голованов. – Ташкент: ГИДРОИНГЕО, 2001. – 611 с.
5. Сазонов А.М., Гринев О.М., Шведов Г.И., Сотников В.И. Нетрадиционная платиноидная минерализация Средней Сибири. – Томск: Изд-во ТПУ, 1997. – 148 с.
6. Сотников В.И., Березина А.Н., Эконому-Элипоулос М., Элипоулос Д.Г. Платина и палладий в рудах медно-молибден-порфировых месторождений Сибири и Монголии // Доклады АН СССР. – 2001. – Т. 378. – № 5. – С. 663–667.
7. Добрецов Н.Л. Мантийные плюмы и их роль в формировании анорогенных гранитоидов // Геология и геофизика. – 2003. – Т. 44. – № 12. – С. 1243–1261.
8. Летников Ф.А., Дорогокупец П.И. К вопросу о роли сверхглубинных флюидных систем земного ядра в эндогенных геологических процессах // Доклады РАН. – 2001. – Т. 378. – № 4. – С. 535–537.
9. Поцелуев А.А., Рихванов Л.П., Владимиров А.Г. и др. Калгутинское редкометалльное месторождение (Горный Алтай): магматизм и рудогенез. – Томск: СТТ, 2008. – 226 с.
10. Калинин С.К., Щерба Г.Н., Терехович С.Л. Элементы платиновой группы в молибденитах постмагматических месторождений // Доклады АН СССР. – 1972. – Т. 202. – № 1. – С. 187–189.
11. Летников Ф.А. Магмаобразующие флюидные системы континентальной литосферы // Геология и геофизика. – 2003. – Т. 44. – № 12. – С. 1262–1269.

Поступила 29.04.2011 г.