

БЛАГОРОДНОМЕТАЛЬНАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ КОЛЧЕДАНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УРАЛА (НОВЫЕ ДАННЫЕ)

В.П. Молошаг

В предлагаемой статье приводятся материалы последних исследований, позволившие уточнить вопросы применения термометрии руд. Получены новые данные по распределению по составу и распределению примесей благородных металлов в рудообразующих сульфидах и теллуридах. Особого внимания заслуживают анализы молибденита.

Изучение состава минералов осуществлялось с привлечением методов локального рентгеноспектрального анализа. Используемые приборы: JXA-5 – Институт геологии и геохимии УрО РАН; Camebax microbeam и Camebax SX-50 ИГЕМ РАН. На основе разработанной в ИГЕМ РАН методики (Цепин А.И.) с помощью микроанализатора оценивались содержания примесей золота, платины и палладия в отдельных образцах борнита и других рудообразующих сульфидов из золотосодержащих руд. Наряду с этим анализировались примеси платины и палладия в самородном золоте. Условия съемки: ускоряющее напряжение – 20 кВ, ток зонда – 20 нА. В отличие от определения содержаний остальных элементов, где время счета составляло 10 с, для золота, платины и палладия оно удлинилось до 50-100 с. При этих условиях предел обнаружения названных элементов в борните и теннантите составил 0,01 мас. %. В отдельных случаях, например при определении золота в пирите, он достигал 0,005 мас. %. В качестве стандартов применялись чистые металлы [Викентьев и др., 2000].

Результаты использования минералогической термометрии руд халькопиритовой фации подтверждают обоснованность критического отношения к непосредственному использованию исследований состава сфалерита и арсенопирита для оценки определения температуры и летучести серы в их природных ассоциациях [Scott, 1983]. Полученные нами результаты говорят о том, что оценки температуры и летучести серы, полученные нами на основе состава арсенопирита [Kretschmar, Scott, 1976] не согласуются с данными электрум-сфалеритового геотермометра. Более высокие значения температуры, полученные с помощью арсенопиритового геотермометра, чем в случае использования электрум-сфалеритового геотермометра

обусловлены более поздним, наложенным, характером ассоциации сфалерита, которая, наряду с самородным золотом содержит блеклые руды. Действительно, в преобладающем количестве образцов значения температуры, полученные с привлечением состава арсенопирита, оказались выше полученных с помощью электрум-сфалеритового геотермометра (табл. 1). Эти расхождения обусловлены более поздним, наложенным характером ассоциации сфалерита, которая наряду с самородным золотом содержит блеклые руды. Приведенные данные подтверждают правомочность использования именно арсенопиритового, а не ранее предложенного арсенопирит-сфалеритового геотермометра [Бортников, 1993].

Оценки температуры и летучести серы на основе состава арсенопирита, равновесного с пиритом (или пирротинном), подтвердились для ряда золоторудных месторождений, где особенности минерального состава руд позволяют применять методы термометрии, базирующиеся на изучении газово-жидких включений в нерудных минералах. Так, на месторождении Эль Велле-Буинес (Астурия, Испания) состав данного минерала дал сопоставимые результаты со значениями температуры, полученными с помощью термометрии газово-жидких включений [Cepedal et al., 2000]. Аналогичные исследования проводились на золоторудных залежах месторождений Трансвааль (З. Австралия) и Фазенда Мария Прета, зеленокаменный пояс Итапикуру, Баия (Бразилия) [Hagemann et al., 1998; Xavier, Foster, 1999].

Руды пирротиновой фации отличаются специфическим набором акцессорных минералов. Здесь довольно часто встречаются молибденит, кубанит и карролит. Молибденит и кубанит в отдельных случаях отмечались совместно с арсенопиритом также и в рудах халькопиритовой фации месторождений им. Ш Интернационала и Карабашское. Состав молибденита из руд месторождения им. 50-летия Октября (см. табл. ниже) показал довольно высокое содержание в данном минерале примесей, до 0,41 мас. %, что выше, чем для молибденита из медно-порфировых месторождений. Несмотря на то, что в количественном от-

Таблица 1

Сопоставление арсенопиритового и электрум-сфалеритового геотермометров
для руд колчеданных месторождений

Образец	Т°С	-log f _{S2}	Образец	Т°С	-log f _{S2}
Арсенопиритовый геотермометр			Электрум-сфалеритовый геотермометр		
Дегтярское месторождение					
145/79	420	6,15	145/79	372	6,5
67/78	372	7,6	67/78	303	9,02
65/78	398	7,1	65/78	339	7,04
Месторождение им. III Интернационала					
1115	410	6,3	1115	376	6,2
1124	380	7,2	1124	296	9,7
Карабашское месторождение					
16/82	405	6,3	16/82	543	1,8
Месторождение Барсучий лог					
0175	415	6,15	0175	354	6,50
0173	387	7,2	0173	276	8,6
				284	10,0

ношении молибденит представляет чисто минералогический интерес, данный минерал имеет очень важное генетическое значение в связи с развитием рений-осмиевого метода определения абсолютного возраста.

Для изоморфной примеси серебра в минералах в порядке увеличения его содержания намечаются следующие последовательности: галенит – блеклые руды – борнит для борнитовой фации и галенит – блеклые руды для халькопиритовой фации. Сингенетичные борниту блеклые руды отличаются относительно низким содержанием серебра. Очевидно, это связано с перераспределением примеси серебра между блеклыми рудами и борнитом в условиях борнитовой фации. На примере Гайского месторождения нами было обнаружено, что концентрации серебра в борните выше, чем в блеклых рудах (табл. 2). Распределение примесей серебра между данными минералами приближается к равновесному. В борните и теннантите обнаружены также примеси золота до 0,12, палладия до 0,13 и платины до 0,12 мас. %. Основная часть золота в данных минералах, вероятно, присутствует в виде тонкодисперсных, субмикроскопических включений и сростков. В пользу чего говорит большой разброс полученных значений содержания золота и платиноидов.

Большая часть исследованных выделений теллуридов содержит примеси золота (табл. 3). Неравномерное распределение примеси золота в теллуридах косвенным образом под-

тверждает наличие мелких субмикроскопических включений его минералов. По-видимому, в той же степени это относится и к примесям серебра (исключая собственные минералы золота и серебра). Несомненный интерес представляют примеси платины и палладия в теллуридах. Не исключено, что в теллуридах могут быть микровключения минералов платиноидов.

В минералогическом отношении заслуживает внимания наличие значительных концентраций селена. В некоторых анализах тетрадимита атомное количество данного элемента превышает количество серы (табл. 3, образец М131/81), что свидетельствует о возможном существовании селенистой разновидности данного минерала. В данной таблице приводятся выборочные данные по составу теллуридов, отличающихся максимальным и минимальным содержанием селена. Тетрадимит и другие минералы Молодежного месторождения выделяются повышенным содержанием селена по отношению к образцам данных минералов из Сафьяновского и Учалинского месторождений. Выполненные исследования показали, что распределение селена в рудах и минералах колчеданных месторождений, особенно минералогия данного элемента по сравнению с теллуром, изучены недостаточно. Наличие значительного количества примеси селена в ряде минералов Молодежного месторождения, вплоть до селенистой разновидности тетрадимита, свидетельствует о потенциальной возможности обнаружения и других минералов селена в рудах

Таблица 2

Распределение примесей благородных металлов в борните (Bn) и теннантите (Tn)

№ обр Минерал	I-754-3		I-754/3		501/74		502/76		517/76		518/76		505/77		506/77		507/77	
	Bn	Tn	Bn	Tn	Bn	Tn	Bn	Tn	Bn	Tn	Bn	Tn	Bn	Tn	Bn	Tn	Bn	Tn
As	0,03	0,00	0,06	20,62	20,38	13,08	19,73	20,79	20,00	20,16	20,43	21,07	20,16	20,43	20,43	21,07	20,16	20,43
S	26,14	26,19	25,96	27,94	27,88	25,11	24,78	26,44	29,34	28,35	26,74	28,56	26,87	28,35	26,74	28,56	26,87	28,35
Cu	62,12	62,68	62,58	42,39	42,38	63,90	61,35	62,54	62,44	61,16	59,84	61,43	61,16	61,16	59,84	61,43	61,16	61,16
Se	0,00	0,04	0,00	0,05	0,16													
Sb	0,05	0,00	0,02	0,70	0,47	9,03	1,42	0,13	1,48	0,85	0,46	0,17	0,85	0,46	0,46	0,17	0,85	0,46
Fe	10,87	10,50	10,45	0,16	0,21	10,40	11,46	11,27	0,23	13,56	13,04	12,91	13,56	13,04	13,04	12,91	13,56	13,04
Ag	0,55	0,48	0,41	0,10	0,00	0,59	0,21	0,25	0,06	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,17	0,37	0,00	0,00
Zn	0,00	0,03	0,00	7,74	7,70	8,05	8,47	8,50	8,50	8,44	8,72	8,59	8,44	8,72	8,72	8,59	8,44	8,72
Te	0,00	0,07	0,00	0,23	0,12	0,00	0,18	0,08	0,07									
Pd	0,00	0,00	0,07	0,00	0,00													
Pt	0,00	0,16	0,00	0,00	0,00													
Au	0,14	0,11	0,10	0,00	0,00													
Sum	99,90	100,26	99,65	100,03	99,37	100,11	100,61	102,11	100,50	102,36	100,16	102,65	101,59	101,53	99,90	101,20	100,05	101,74

Примечание: пропуски в таблицах обозначают, что анализ не проводился.

колчеданных месторождений.

Исследования распределения золота в сульфидах жильных золоторудных месторождений показали важную роль арсенопирита и других сульфидов сульфидов мышьяка в качестве ведущих минералов-концентраторов, т. н. «невидимого золота». Привлечение современных методов сканирующей электронной микроскопии, вторичной электронной масс-спектрографии, рентгеновской фотоэлектронной и мессбауэровской спектроскопии позволили установить валентное состояние и локализацию золота в структурах арсенопирита и мышьяковистого пирита [Maddox et al., 1998; Mycroft et al., 1995]. Золотосодержащие арсенопирит и пирит с помощью современных методов наиболее детально были изучены в рудах карлинского типа [Reich et al., 2005]. Важная роль этих минералов как носителей, концентраторов невидимого золота была подтверждена и для жильных, скарновых и других гидротермальных месторождений [Генкин, 1998; Ashley et al., 2000; Wilson et al., 1990]. Значительной концентрацией золота из руд этих месторождений отличается также пирит, содержащий структурную, изоморфную примесь мышьяка, т. н. «мышьяковистый пирит». Изоморфизм мышьяка и серы в данных пиритах не полный: они содержат мышьяк в количестве до 5 ат. % [Ashley et al., 2000]. Арсенопирит, по всей видимости, является одним из золотосодержащих минералов и в рудах колчеданных месторождений. Некоторые косвенные доказательства этой его роли дают микроскопические наблюдения золотосодержащих руд. В образцах из месторождения имени III Интернационала (№№ 1077, 1249) наблюдается появление мелких выделений Au, начиная с тонких пленочных выделений теннантита, которые облекают идиоморфные зерна арсенопирита [Викентьев и др., 2006]. В рудах колчеданных месторождений также присутствуют мышьяковистые разновидности пирита. Мышьяковистый пирит обнаружен нами в сплошных медно-цинковых рудах Сафьяновского месторождения (рудное тело № 1). К сожалению, данные образцы на золото не анализировались. Анализ минералообразующих элементов образцов мышьяковистого пирита приведен в таблице. Кроме «невидимого золота» в блеклых рудах часто встречаются включения и прожилки видимого золота, подробно описанные в литературе. С учетом часто наблюдаемого замещения блеклыми рудами ар-

Таблица 3

Химический состав теллуридов и сульфотеллуридов

Месторождение, образец	Минерал	Содержание мас. %														Сумма			
		Cu	Ag	S	As	Fe	Te	Sb	Se	Zn	Au	Bi	Hg	Pb	Pd	Pt			
M 21/89	PbTe	0,03	0,27	0,00	0,00	0,05	37,42	0,00	0,86	0,23	0,22	0,33	0,13	60,33			99,87		
	PbTe	0,00	0,46	0,00	0,00	0,29	37,59	0,00	0,52	0,82	0,09	0,21	0,00	60,08			100,06		
M 46/86	PbTe	0,39	0,47	0,06	0,00	0,00	37,58	0,00	0,17	3,70	0,00	0,00	0,00	61,27			103,64		
	PbTe	0,03	0,73	0,02	0,00	0,03	37,60	0,00	0,28	3,70	0,12	0,00	0,07	61,09			103,67		
M 21/89	PbTe	0,03	0,27	0,00	0,00	0,05	37,42	0,00	0,86	0,23	0,22	0,33	0,13	60,33			99,87		
	PbTe	0,00	0,46	0,00	0,00	0,29	37,59	0,00	0,52	0,82	0,09	0,21	0,00	60,08			100,06		
Уз 404/78	PbTe	1,68	0,07	0,00	0,00	0,06	37,27	0,05	0,14	0,49	0,00	0,05	0,29	61,08	0,00	0,30	101,48		
	PbTe	0,60	0,06	0,00	0,00	0,03	36,72	0,00	0,19	0,64	0,00	0,00	0,00	60,96	0,13	0,25	99,58		
Уз 418/78	PbTe	0,03	0,02	0,00	0,00	0,00	38,05	0,32	0,17	0,02	0,00	0,00	0,00	61,17	0,00	0,06	90,84		
	PbTe	0,02	0,18	0,00	0,00	0,00	37,95	0,27	0,08	0,04	0,15	0,00	0,14	61,23	0,14	0,00	100,20		
Уз 424/78	PbTe	0,00	0,09	0,00	0,00	0,00	37,17	0,18	0,04	2,08	0,00	0,00	0,31	60,83	0,00	0,00	100,70		
	PbTe	0,00	0,09	0,00	0,00	0,06	36,55	0,00	0,45	1,14	0,00	0,00	0,00	61,26	0,00	0,03	99,58		
C 2149/126	Bi ₂ Te ₂ S	0,52	0,00	4,39		0,26	35,48	0,15	0,81	0,02	0,00	56,67	0,00	0,00	0,00	0,26	98,54		
		0,23	0,02	4,20	0,00	0,11	36,25	0,15	1,07	0,00	0,02	57,92	0,00	0,00	0,00	0,02	99,99		
M 6/91 м.1	Bi ₂ Te ₃	0,49	0,50	0,09	0,02	0,18	46,42	0,00	0,69	0,18	0,05	47,08	0,00	3,38			99,08		
		1,06	0,83	0,12	0,03	0,72	45,00	0,00	0,81	0,06	0,00	45,62	0,00	5,00			99,25		
M 113/88	Bi ₂ Te ₂ (S,Se)	0,46	0,23	4,02	0,00	0,30	36,45	0,08	1,02	0,07	0,00	56,73	0,00	0,00			99,36		
		0,94	0,41	3,77	0,00	0,53	35,23	0,00	1,79	0,00	0,03	56,73	0,00	0,00			99,43		
M 49/88	Bi ₂ Te ₂ (S,Se)	0,27	0,24	3,63	0,02	0,13	36,44	0,00	1,91	0,06	0,00	56,60	0,00	0,00			99,30		
		0,68	0,54	3,02	0,03	0,42	35,66	0,00	2,79	0,00	0,00	55,86	0,00	0,00			99,00		
M 131/81м.1	Bi ₂ Te ₂ (Se,S)	0,45	0,09	1,13	0,00	0,42	34,97	0,00	6,98	0,28	0,00	55,06	0,02	0,11			99,51		
		0,78	0,15	1,16	0,02	0,50	34,69	0,00	6,88	0,09	0,04	54,66	0,00	0,15			99,12		

Примечание. Месторождения: М – Молодежное; С – Сафьяновское; Уз – Узельгинское; 50 л – им. 50-летия Октября.

сенопирита и наоборот, можно заключить, что геохимическая связь золота и мышьяка в колчеданных рудах сохраняется при изменении минеральных форм нахождения мышьяка в рудах, связанном с их перекристаллизацией или замещением одних минералов другими.

На первый взгляд из анализа литературных источников по золоторудным месторождениям (в том числе карлинского типа) и приведенных данных по колчеданным месторождениям напрашивается весьма тесная связь, возможно, приближающаяся по идентичности к геохимии и минералогии золота названных типов месторождений. Однако, нельзя упускать из виду, что начальные этапы формирования колчеданных месторождений происходят в условиях подводного гидротермального рудоотложения. Выпадающая из растворов тонкозернистая сульфидная масса состоит преимущественно из пирита, представленного фрамбоидами, обладающими громадной, насыщенной дефектами поверхностью, которая сорбирует растворимые соединения золота с хлором и серой и способствует образованию его кластерных или наночастиц золота. Если рассматривать условия образования руд карлинского типа, то, по-видимому, кроме геодинамических условий локализации этих руд, один из признаков их отличия от колчеданов заключается в повышенном (в десятки раз) количественном отношении золота к сере, точнее – к пириту. Механизм осаждения золота пиритом или арсенопиритом в том и другом случаях идентичный. Для относительно бедных мышьяком колчеданных месторождений золота явно «не хватает» для образования руд с концентрацией золота, аналогичной карлинскому типу. Автор не претендует на анализ имеющихся известных признаков сходства и различия названных месторож-

дений. Высказанное соображение следует принимать не более как одно из предположений.

В условиях колчеданных месторождений замещение арсенопирита теннантитом приводит к перераспределению, изменению соотношений минеральных форм нахождения серебра, висмута, теллура и других элементов, которые могут входить в виде примесей в структуру блеклых руд. При развитии блеклых руд, замещающих арсенопирит, эти минералы уже не отмечаются, ввиду того, что серебро и висмут могут в довольно значительных количествах растворяться в виде примесей в структуре блеклых руд. Наличие теллуридов в рудных столбах Сафьяновского месторождения объясняется пониженным содержанием в них мышьяка как основного элемента блеклых руд, где оно составляет 145 г/т по сравнению с 2320 г/т в сплошных колчеданных рудах. Для остальных примесей эти различия значительно меньше и составляют 5,7 и 9,2 г/т для теллура, 35,7 и 41,9 г/т для висмута и для серебра 47,2 и 59,0 г/т соответственно [Коротеев и др., 1997]. Мышьяковистый пирит присутствует в сплошных, мелкозернистых медно-цинковых рудах Сафьяновского месторождения (рудное тело № 1). Далее, при развитии медных столбов по этим рудам теннантит не теряет связь с пиритом, хотя последний подвергнут перекристаллизации, но в агрегатах пирита «прорисовываются», угадываются следы колломорфных, кокардовых и других структур, присущих тонкозернистым рудам. При анализе образцов пирита этих руд нами были установлены мышьяковистые разновидности этого минерала (табл. 4).

Таким образом, выполненные исследования подтверждают правомочность использования арсенопиритовой термометрии. Повышенные значения температуры, полученные с помощью

Таблица 4

Химический состав рудообразующих и редко встречающихся минералов колчеданных месторождений, мас. %

Месторождение, образец	Минерал	Cu	S	As	Fe	Sb	Co	Ni	Mo	Re	Сумма
С 0150/60.7	FeS ₂		53,43	0,29	46,88	0,00	0,00	0,00			100,59
С 0150/75.6	FeS ₂		53,64	0,17	46,43	0,00	0,00	0,00			100,24
С 0150/104.0	FeS ₂		53,45	0,35	46,67	0,00	0,00	0,00			100,48
С 2089/43.0	FeS ₂		52,85	0,35	46,74	0,00	0,05	0,00			99,99
С 0162/136.2	FeS ₂	0,96	54,15	0,49	46,29	0,00	0,03	0,01			101,93
С 0150/136.2	FeS ₂	0,00	54,16	0,49	46,12	0,00	0,05	0,00			100,82
Т-98	MoS ₂ *		40,13		0,28				60,24	0,46	100,11
Т-98			38,91		0,34				59,57	0,52	99,34

арсенопиритового геотермометра, подтверждаются поздним, наложенным становлением ассоциации сфалерита с самородным золотом, которая используется в электрум-сфалеритовом геотермометре. В безборнитовых рудах наиболее высокие концентрации примеси серебра накапливаются в теннантите. В колчеданных рудах намечаются признаки связи золота и серебра с мышьяком, аналогичные золоторудным месторождениям, что подтверждается находками мышьяковистого пирита, а также появлением видимого золота при замещении арсенопирита блеклыми рудами. Смешивание минеральных парагенезисов руд практически не нарушает геохимические связи золота с мышьяком.

Значительные количества примеси селена в ряде минералов Молодежного месторождения, вплоть до селенистой разновидности тетрадимита, свидетельствует о потенциальной возможности обнаружения минералов селена в рудах колчеданных месторождений.

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ (гранты № 97-05-64723; 01-05-64510 и 03-05-64206).

Список литературы

- Бортников Н.С. О достоверности арсенопиритового и арсенопирит-сфалеритового геотермометров // Геология рудных месторождений. 1993. Т. 35. № 2. С. 177-191.
- Викентьев И.В., Беленькая Ю.А., Агеев Б.И. Александринское колчеданно-полиметаллическое месторождение (Урал, Россия) // Геология рудных месторождений. 2000. Т. 42. № 3. С. 248-274.
- Викентьев И.В., Молошаг В.П., Юдовская М.А. Формы нахождения и условия концентрирования благородных металлов в колчеданных рудах Урала // Геология рудных месторождений. 2006. Т. 48. № 2. С. 91-125.
- Генкин А.Д. Золотоносный арсенопирит из золоторудных месторождений: внутреннее строение зерен, состав, механизм роста и состояние золота // Геология рудных месторождений. 1998. Т. 40. № 6. С. 551-557.
- Коротеев В.А., Язева Р.Г., Бочкарев В.В. и др. Геологическая позиция и состав Сафьяновского меднорудного месторождения на Среднем Урале. Путеводитель геологических экскурсий. Екатеринбург: ИГЕМ РАН, ИГГ УрО РАН, 1997. 94 С.
- Молошаг В.П., Викентьев И.В. Распределение платиноидов и золота в минералах колчеданных месторождений Урала // Ежегодник-2000. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2001. С. 161-166.
- Молошаг В.П., Викентьев И.В., Гуляева Т.Я. и др. Благородные и редкие металлы в борнитовых рудах колчеданных месторождений Урала // Записки Всероссийского минералогического общества. 2005. Ч. 134. № 3. С. 53-69.
- Молошаг В.П., Грабежеев А.И., Гуляева Т.Я. Условия образования теллуридов в рудах колчеданных и медно-золото-порфировых месторождений Урала // Записки ВМО. 2002. Ч. 131. № 5. С. 40-54.
- Молошаг В.П., Грабежеев А.И., Викентьев И.В. и др. Фации рудообразования колчеданных месторождений и сульфидных руд медно-золото-порфировых месторождений Урала // Литосфера. 2004. № 2. С. 30-51.
- Ashley P.M., Creagh C.J., Ryan C.G. Invisible gold in ore and mineral concentrates from the Hillgrove gold-antimony deposits, NSW, Australia // Mineralium Deposita. 2000. V. 35. № 4. P. 285-301.
- Cepedal A., Martin-Izard A., Reguilyn R. et al. Origin and evolution of the calcic and magnesian skarns hosting the El Valle-Boinós copper-gold deposit, Asturias (Spain) // J. Geochem. Explor. 2000. V. 71. № 2. P. 119-151.
- Hagemann S.G., Brown P.E., Ridley J. et al. Ore petrology, chemistry, and timing of electrum in the Archean hypozonal Transvaal lode gold deposit, Western Australia // Econ. Geol. 1998. V. 93. № 3. P. 271-291.
- Kretschmar U., Scott S.D. Phase relations involving arsenopyrite in the system Fe – As – S and their application // Canad. Mineral. 1976. V. 14. № 3. P. 364-386.
- Maddox L.M., Bankroft G.M., Scaini M.J. et al. Invisible gold: Comparison of Au deposition on pyrite and arsenopyrite // Amer. Mineral. 1998. V. 83. №. P. 1240-1245.
- Mycroft J.R., Bankroft G.M., McIntyre N.S. et al. Spontaneous deposition of gold on pyrite from solutions Au (III) and Au (I) chlorides. Part I: A surface study // Geochim. Cosmochim. Acta. 1995. V. 59. №. 16. P. 3351-3365.
- Reich M., Kesler S.E., Utsunomiya S. et al. Solubility of gold in arsenian pyrite // Geochim. Cosmochim. Acta. 2005. V. 69. №. 11. P. 2781-2796.

- Scott S.D.* Chemical behaviour of sphalerite and arsenopyrite in hydrothermal and metamorphic environments // *Mineralogical Magazine*. 1983. V. 47. № 326. P. 427-435.
- Simon G., Huang H., Penner-Hahn J.E. et al.* Oxidation state of gold and arsenic in gold-bearing arsenian pyrite // *Amer. Mineral.* 1999. V. 84. №. P. 1071-1079.
- Tarnocai C.A., Hattori K., Cabri L.J.* «Invisible» gold in sulfides from the Campbell mine, Red Lake greenstone belt, Ontario: evidence for mineralization during the peak metamorphism // *Canadian Mineralogist*. 1997. V. 35. № 4. P. 805-815.
- Wilson G.C., Rucklidge J.C., Kilius L.R.* Sulfide gold content of skarn mineralization at Rossland, British Columbia // *Econ. Geol.* 1990. V. 85. №. P. 1252-1259.
- Xavier R.P., Foster R.P.* Fluid evolution and chemical controls in the Fazenda Maria Preta (FMP) gold deposit, Rio Itapicuru Greenstone Belt, Bahia, Brasil // *Chem. Geol.* 1999. V. 154. №. P. 133-154.