

проб в горных выработках и скважинах, особенности их документации. Выполняется отбор единичных проб. Организуется посещение приборазделочного цеха с целью знакомства с техническими средствами и способами обработки геологоразведочных проб. Проводится экскурсия в химическую лабораторию для ознакомления с основными видами, способами и техническими средствами испытаний проб.

На теоретических занятиях характеризуются применяемые на различных стадиях работ геологоразведочные системы; технические (буровые и горные) средства разведки; методика геологической документация и геологоразведочного опробования; геохимические и геофизические исследования; инженерно-геологические и гидрогеологические наблюдения; вопросы подсчета и оперативного учета запасов полезного ископаемого; основные методы организации и проведения геологоразведочных работ.

*Горно-технологическая часть практики* включает знакомство с подземным и открытым способами добычи, техническими средствами добычных работ и транспортирования полезного ископаемого; посещение участков рудных тел, на которых используются различные системы разработки; посещение и осмотр карьера, горнокапитальных, подготовительных, нарезных и очистных горных выработок.

В процессе посещения обогатительной фабрики студенты знакомятся с технологическим процессом переработки полезного ископаемого, организацией хранения отвалов, «хвостов» обогатительной фабрики, очистки сточных и технических вод, другими мероприятиями по охране окружающей среды.

### Литература

*Андреев В. Л., Карнаух Ю. В., Щеглов В. И.* Состояние и перспективы промышленного использования колчеданных месторождений Передового хребта (Северный Кавказ) // Геодинамические и генетические модели рудных месторождений. Новочеркасск: ЮРГТУ, 2007. С. 36–49.

*Скрипченко Н. С.* Вулканогенно-осадочное рудообразование (на примере колчеданных месторождений Северного Кавказа). М.: Недра, 1966. 291 с.

*Смирнов В. И.* Геология полезных ископаемых. М.: Недра, 1969. 685 с.

***В. В. Масленников, С. П. Масленникова***  
*Институт минералогии УрО РАН, г. Миасс*  
*mas@mineralogy.ru*

### **О типохимизме субмаринных гипергенных сульфидов (на примере колчеданных месторождений Урала)**

Колчеданные месторождения – один из важнейших объектов развития геохимии рудных месторождений. Наиболее интересные работы по изучению типохимизма сульфидов колчеданных месторождений ранее проводились разными локальными методами: лазерным спектральным [Еремин, 1983], протонным [Huston et al., 1995], продолжительным микрорентгеноспектральным [Викентьев, 2004] и ионным [Бортников и др., 2003]. Первые результаты, полученные при использовании масс-

спектрометрического анализа с индуктивно связанной плазмой и лазерным микропробоотборником (ЛА-ИСП-МС), были связаны с изучением геохимической зональности современных «черных курильщиков» [Butler, Nesbitt, 1999]. Анализу типохимизма минералов в сульфидных трубах палеозойских «черных курильщиков» Урала на основе данных ЛА-ИСП-МС посвящена одна из последних монографий авторов [Масленникова, Масленников, 2007]. Были установлены признаки гидротермально-осадочной дифференциации элементов-примесей. Гораздо меньше известно о поведении элементов-примесей при субмаринном гипергенезе гидротермальных сульфидных отложений [Масленников, 2006].

Для выявления типохимизма продуктов субмаринного гипергенеза сравнивались заведомо обоснованные гидротермальные и субмаринные гипергенные микрофазии и отдельные минералы, принадлежащие к этим микрофазиям.

Оценка типохимизма сульфидов выполнялась методом ЛА-ИСП-МС (Университет Тасмании, Австралия). Сущность метода заключается в отборе пробы в визуальном однородных мономинеральных выделениях сульфидов через расстояние 300 мкм пучком лазера диаметром от 10 до 80 мкм (оптимальный размер 40–60 мкм). Продукты абляции анализируются на плазменном масс-спектрометре. Метод позволяет определить с высокой чувствительностью (0.01 г/т) содержания 20–25 микроэлементов (Au, Ag, Te, Se, Sb, As, Sn, Tl, Cd, Mn, Bi, Ti, V, Cr, Ba, Cu, Zn, Pb, Mo, W, Fe, Co, Ni) в отдельных сульфидных зернах и относительно гомогенных участках. Этим методом по тренду «пульсов» оценивается степень однородности каждого минерального индивида с выявлением зональности и вариаций состава микровключений минералов. Преимущество данного метода по сравнению с другими – высокая чувствительность при одновременно широком спектре выявляемых элементов-примесей.

В ряде случаев можно установить отличия по ассоциациям и концентрациям элементов-примесей в гидротермальных и субмаринных гипергенных (диагенетических) сульфидах (пирит, халькопирит, сфалерит, борнит) колчеданных месторождений Урала.

**Пирит.** Ранее было установлено, что на месторождениях уральского типа широко представлены субмаринные гипергенные преобразования руд с пиритизацией пирротина. Основная причина образования зернистого пирита – субмаринное окисление тонкодисперсных моносulfидов железа (троилита или пирротина). Примесь углеродистого вещества приводит к появлению новообразованных фрамбоидальных, конкреционных и эвгедральных диагенетических разновидностей пирита [Масленников, 1999]. Сравнение их на Сафьяновском месторождении показало, что содержания большинства элементов-примесей на 2–3 порядка снижаются в ряду от гидротермально-осадочного колломорфного и раннедиагенетического фрамбоидального пирита к кристаллически зернистым гидротермально-метасоматическим, диагенетическим разновидностям (табл. 1). В отличие от высокотемпературных гидротермальных разновидностей пирита низкотемпературные разновидности, к которым принадлежат гидротермально-осадочные колломорфные, диагенетические фрамбоидальные, конкреционные и эвгедральные, обеднены Se. Для колломорфного и фрамбоидального пирита свойственны повышенные содержания Tl и U, типичных элементов низкотемпературных гидротермальных и гидрогенных ассоциаций, соответственно. Интересно, что содержание U в позднедиагенетических эвгедральных и конкреционных разновидностях пирита существенно ниже, чем в гидротермальных, гидротермально-осадочных и раннедиагенетических. Максимальными содержаниями U (до 6 и более г/т), как обычно, отличаются продукты замещения пирротина тонкодисперсным пиритом.

Очевидно, U осаждался на поверхности окислявшихся моносulfидов железа [Butler, Nesbitt, 1999].

**Сфалерит.** На месторождениях куроко типа сфалерит является наиболее устойчивым минералом в зонах субмаринного гипергенеза по сравнению с другими sulfидами [Масленников, Третьяков, 2008]. В слабопреобразованных sulfидных песчаниках обычно встречаются три типа сфалерита. Первый тип обнаружен в обломках друзовых и колломорфных слоях палеокурильщиков. Для этой разновидности характерны друзовые агрегаты с концентрической зональностью и тонкой эмульсионной вкрапленностью халькопирита. Второй тип образует псевдоморфозы по колломорфному пириту и марказиту. Сфалерит третьего типа развивается по сфалериту первого типа и образует сегрегации или целые слои в кровле циклитов. Его отличительная особенность – полисинтетические двойники. Первый тип относится к гидротермальным разновидностям, второй и третий типы – к диагенетическим или субмаринным гипергенным [Масленников, 2006]. Более полная геохимическая информация имеется по первому и второму типам сфалерита из слоистых sulfидных руд Александринского месторождений.

На Александринском месторождении диагенетический сфалерит образует слои в преобразованных sulfидных песчаниках. После травления в концентрированной азотной кислоте выявляются многочисленные отчетливые полисинтетические двойники. Такой сфалерит обеднен большинством элементов-примесей высокотемпературной ассоциации (Te, Au, Bi, Se, Mo) по сравнению с гидротермальным сфалеритом труб «черных курильщиков» (табл. 2). Исключение составляют Ba, V, U, W. Барий связан с микроскопической вкрапленностью барита, почти всегда присутствующего в сфалеритовых слоях. Его появление фиксирует периоды аномального повышения в растворе содержания  $SO_4^{2-}$ , которое может быть вызвано субмаринным гипергенезом sulfидов. Концентрация V, U, W обусловлена либо захватом из морской воды при окислении sulfидов [Butler, Nesbitt, 1999], либо поступлением вместе с примесным пелитоморфным материалом гиалокластогенного происхождения.

**Халькопирит.** Грубозернистые гидротермальные и гидротермально-метасоматические разновидности халькопирита обеднены элементами-примесями, за исключением Se, Mo, Sn (высокотемпературные разновидности). Мелкозернистые гидротермальные разновидности содержат аномальные количества Te, коррелирующего с повышенными содержаниями Co, Pb, Hg, Ag, Au, Bi (высокотемпературная ассоциация), связанными в основном с включениями теллуридов, сульфоарсенидов, галенита и самородного золота [Масленникова, Масленников, 2007]. Аномальные содержания Mn, Tl, As, Pb, Ag, Au, U, Ni, Co и Ba, характерные для гидротермальных корок колломорфного пирита, наследуются в псевдоморфном халькопирите, формировавшемся в зоне субмаринного гипергенеза в обломочных рудах, например, Александринского месторождения (табл. 3).

**Борнит.** Поведение элементов-примесей изучено на примере борнитов Александринского и Валенторского медно-цинково-колчеданных месторождений.

На Александринском месторождении борнит приурочен к халькопиритовой кристификации канала пирит-сфалерит-халькопиритовых труб. Его обособления нередко являются основой для решетчатых сростаний халькопирита. Анализу подвергались участки минерала, лишенные видимых посторонних включений.

Таблица 1

**Средние содержания элементов-примесей в пирите  
Сафьяновского медно-цинково-колчеданного месторождения (г/т)**

№	n	Ti	V	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	As	Se	Mo	Ag	Cd	Sn	Sb	Te	Ba	W	Au	Tl	Pb	Bi	U
1	15	7.8	8.9	2.4	139.1	248.2	33670	6	984	302	39.3	7.5	0.3	4.8	5.1	33.6	15.0	0.1	0.1	0.3	9	27.46	0.092
2	11	7.7	4.6	181.5	214.9	15.5	1892	302	8550	109	13.2	68.0	29.6	2.5	501.7	12.7	312.8	0.4	3.1	37.3	2104	33.15	0.269
3	30	7.8	3.4	581.3	42.9	28.8	1666	2222	4427	53	21.8	64.13	14.1	1	554.6	3.7	131.7	3	2.8	79.51	625	9.60	0.063
4	14	4.7	4.7	1376	2.48	142	3440	3509	5538	14	45	794.4	78	3.6	1732	3.5	35.98	2	21	569	4021	17.81	0.24
5	11	11	9	329.7	212	37	9519	6032	6809	157	144	187.3	227	5.8	601.9	22	273.6	1	3.3	80.84	6980	83.95	3.039
6	20	9.3	17	857.4	30.5	101	4904	1033	3106	74	140	240.6	131	20	522.6	9.4	222	4	5.3	67.27	2831	47.38	0.601
7	16	8.2	1.5	38.8	133.5	55.9	799	481	1075	86	10.2	16.9	3.4	0.3	82.9	4.6	1902.5	0.4	0.6	6.2	340	9.02	0.035
8	1	7.6	0.3	2.2	52.9	24.8	1495	26	69	7	0.7	60.4	3.0	0.4	591.2	0.5	0.1	0.1	0.5	58.1	737	13.00	0.006

Примечание. n – количество проб. Разновидности пирита: 1 – эвгедральный гидротермально-метасоматический; 2 – субгедраль-ный грубозональный в крустификационном халькопирите «черных курильщиков»; 3 – ан- и субгедральный в рудокластах массивных руд; 4 – колломорфный (трубы, фауна, корки); 5 – псевдоморфный апопирротинный; 6 – фрамбоидальный раннедиагенетический; 7 – эвгедральный позднедиагенетический; 8 – конкреционный позднедиагенетический.

Таблица 2

**Средние содержания элементов-примесей в сфалерите Александринского медно-цинково-колчеданного месторождения (г/т)**

№	n	Ti	V	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	As	Se	Mo	Ag	Cd	Sn	Sb	Te	Ba	W	Au	Tl	Pb	Bi	U
1	6	3	1.5	10	5630	0.02	0.1	9261	154	42	153	19	4751	1.7	210	15.8	39	0.4	2.8	0.07	54	10.7	0.002
2	29	3	1.7	10	5939	0.05	0.7	8771	432	47	107	29	4196	1.8	226	15.2	76	0.4	2.9	0.04	214	9.8	0.002
3	19	17	25.4	26	2356	0.05	0.9	3082	201	4	96	17	2280	1.5	47	2.2	4882	5.1	0.2	0.37	482	1.7	0.590
4	5	4	5.5	27	801	0.01	0.3	723	6	2	4	8	3535	1.8	2	0.4	4	0.1	0.3	0.08	393	0.0	0.002

Примечание. n – количество проб. Разновидности сфалерита: 1 – гидротермально-инкрустационный в оболочке трубы; 2 – гидротермально-крустификационный в запечатанном канале трубы; 3 – диагенетический в слоистых сульфидных рудах; 4 – диагенетический в псевдоморфном халькопирите.

Таблица 3

**Средние содержания элементов-примесей в халькопирите и борните Александринского медно-цинково-колчеданного месторождения (г/т)**

№	n	V	Mn	Co	Ni	Zn	As	Se	Mo	Ag	Cd	Sn	Sb	Te	Ba	W	Au	Tl	Pb	Bi	U
1	3	21	2	0.05	2.14	1541	9	14	178.7	12	12.9	2	3	1	78988	1.23	0.06	0.83	181	13.2	0.002
2	25	5	5	0.05	0.15	582	485	38	12.2	5	12.3	3	183	7	13	0.89	0.05	0.05	378	2.9	0.008
3	14	3	1585	0.10	0.50	5332	3764	2	10.9	112	65.3	1	635	52	7	0.51	1.70	0.88	1252	0.3	0.072
4	3	3	33	0.02	0.43	149	2	86	0.1	3	0.5	1	5	16	1243	0.03	0.05	0.01	22	33.1	0.013
5	12	31	115	0.07	0.68	3544	275	42	9.5	229	31.1	2	95	3	112	37.62	0.17	0.48	190	187.4	0.017

Примечание. n – количество проб. Разновидности халькопирита: 1 – интерстициальный в оболочке труб; 2 – друзовый крустификационный; 3 – псевдоморфный по колломорфному пириту; 4 – эвгдральный в кремнисто-гематитовых породах (госсанитах); 5 – борнит в трубе «палеокурильщика».

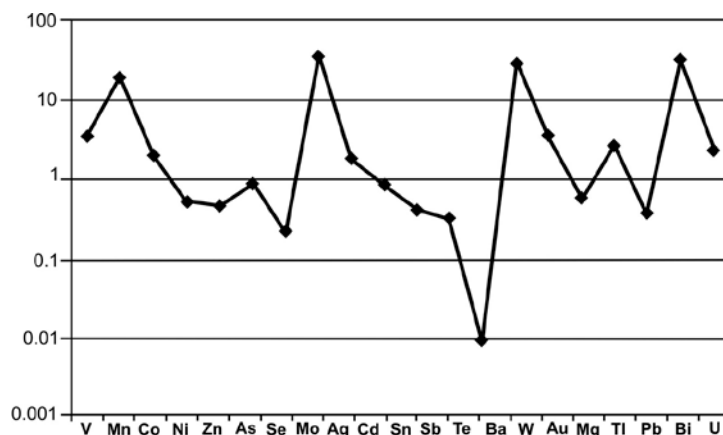


Рис. 1. Средние содержания элементов-примесей в борните трубы «черного курильщика» Александринского месторождения, нормированные к средним содержаниям элементов-примесей в гидротермально-кристификационном халькопирите этой же трубы.

На Валенторском месторождении борнит приурочен к преобразованным мелкообломочным сульфидным отложениям, сменяющим сульфидные брекчии на флангах сульфидного холма. Сульфидные брекчии, в основном, состоят из обломков сфалерита и кристификационного халькопирита сульфидных труб «черных курильщиков». В халькопирите присутствует микровкрапленность теллуристого теннантита, силванита, эмпрессита, гессита, самородного золота и теллуристого теннантита. Борнит чаще всего замещает пирит-халькопиритовые слои, переслаивающиеся со сфалеритом и развивается по халькопириту. В нем содержится вкрапленность теллуристого теннантита, крупные (до 2 мм) выделения самородного золота в ассоциации с гесситом и купрокервеллеитом.

По сравнению с исходным халькопиритом борнит обогащен Bi и Ag (рис. 1, 2). Судя по однородности распределения, эти элементы в основном представляют собой изоморфную примесь в структуре борнита. Часть серебра присутствует в крупных включениях теннантита, самородного золота, гессита и купрокервеллеита. Борнит в трубе «черного курильщика» Александринского месторождения по сравнению с кристификационным халькопиритом содержит больше U, W, V – типичных гидротермальных химических элементов (см. табл. 3, рис. 1) Вероятно, они концентрировались на поверхности окисляющегося халькопирита [Butler, Nesbitt, 1999].

В борните преобразованных обломочных руд Валенторского месторождения на 1–3 порядка ниже содержания V, U, Ni, Ba, W, Tl, As, Sb, Pb, Te, Au, Zn, Cd и многих других элементов-примесей по сравнению с исходным гидротермальным халькопиритом (рис. 2). Все эти химические элементы, кроме W, могут быть идентифицированы в виде самостоятельных фаз: галенита (Pb, Tl), теллуристой блеклой руды (As, Sb, Te), колусита (V), самородного золота. Уран мог бы обособиться в составе радиоактивных «двориков» в сфалерите, как это было ранее обнаружено П. Я. Ярошем [1973] для борнит-сфалеритовой ассоциации на многих колчеданных месторождениях Урала. Однако, такие «дворики» в сфалерите Валенторского месторождения нами пока не обнаружены. В данном случае субмаринный борнит, в отличие от субмаринных гипергенных оксидов [Аюпова и др., 2008] и гидротермально-осадочных

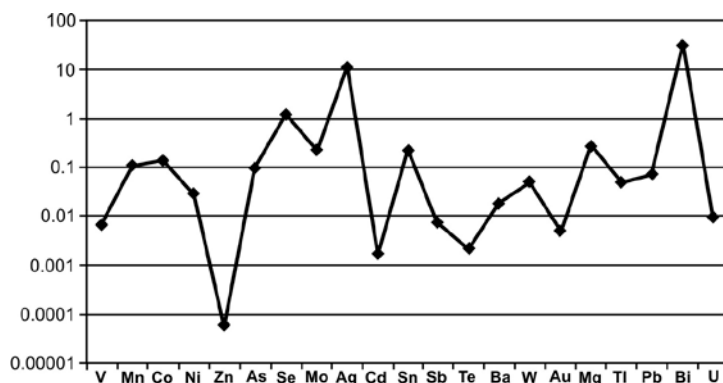


Рис. 2. Средние содержания элементов-примесей в борните преобразованных обломочных руд Валенторского месторождения к средним содержаниям элементов-примесей в гидротермально-квартцезитовом халькопирите труб «черных курильщиков» этого же месторождения.

коллоидных сульфидов [Масленникова, Масленников, 2007], не накапливает элементы-индикаторы морской воды (U, V, W, Ni), даже если он развивается по гидротермально-квартцезитовым сульфидам, обогащенным этими же элементами.

Накопление Ag в гипергенных разновидностях борнита относительно Au – характерная черта зон субмаринного гипергенеза колчеданных месторождений.

Таким образом, субмаринные гипергенные (диагенетические) сульфиды колчеданных месторождений Урала отличаются от сопряженных гидротермальных сульфидов своими ассоциациями элементов-примесей. Перекристаллизованные сульфиды обычно обеднены элементами-примесями, тогда как псевдоморфные разновидности почти полностью унаследуют геохимический спектр, характерный для исходного минерала. В борните, в отличие от исходного халькопирита, концентрируются серебро и висмут. Сопоставление сульфидных труб и продуктов их придонного преобразования позволяет наиболее достоверно выявить их дифференциацию элементов-примесей при субмаринном гипергенезе сульфидных отложений.

Авторы благодарят профессоров Р. Ларжа и Л. В. Данюшевского за содействие в выполнении ЛА-ИСП-МС. Исследования проводились при финансовой поддержке РФФИ (08-05-00731а).

### Литература

Аюпова Н. Р., Сафина Н. П., Масленников В. В., Богданов Ю. А., Масленникова С. П. Элементы-примеси в продуктах полного окисления сульфидов в современных и древних металлоносных отложениях // Уральский минералогический сборник № 15. Миасс: ИМин УрО РАН, 2008. № 15. С. 90–99.

Бортников Н. С., Кабри Л., Викентьев И. В. и др. Невидимое золото в сульфидах из современных гидротермальных построек: К вопросу о поведении золота в субмаринных гидротермальных системах // Геология рудных месторождений, 2003. № 2. С. 510–542.

Викентьев И. В. Условия формирования и метаморфизм колчеданных месторождений Урала. М.: Научный мир, 2004. 344 с.

Еремин Н. И. Дифференциация вулканогенного сульфидного оруденения. М.: МГУ, 1983. 256 с.

Масленников В. В. Седиментогенез, гальмиролиз и экология колчеданосных палеогидротермальных полей (на примере Южного Урала). Миасс: Геотур, 1999. 348 с.

Масленников В. В. Литогенез и колчеданообразование. Миасс: ИМин УрО РАН, 2006. 384 с.

Масленникова С. П., Масленников В. В. Сульфидные трубы палеозойских «черных курильщиков» (на примере Урала). Екатеринбург-Миасс: УрО РАН, 2007. 312 с.

Масленников В. В., Третьяков Г. А. Физико-химическое моделирование последовательности минералообразования при субмаринном гипергенезе сульфидных отложений колчеданных месторождений уральского и куроко типов // Уральский минералогический сборник № 15. Миасс-Екатеринбург: УрО РАН, 2008. С. 9–16.

Ярош П. Я. Диагенез и метаморфизм колчеданных руд на Урале. М.: Наука, 1973. 240 с.

Butler I. B., Nesbitt R. W. Trace element distributions in the chalcopyrite wall of black smoker chimney: insights from laser ablation-inductively coupled plasma-mass spectrometry (LA-ICP-MS) // Earth and Planetary Science Letters, 1999. P. 335–345.

Huston D. L., Sie S. H., Sutter G. F., Cook D. R., Both R. A. Trace Elements in Sulfide Minerals from Eastern Australian Volcanic-Hosted Massive Sulfide deposits. Part I. Proton Microprobe Analyses of Pyrite, Chalcopyrite, and Sphalerite, and Part II. Selenium Levels in Pyrite. Comparison with  $\delta S^{34}$  Values and Implication for the Source of Sulfur in Volcanogenic Hydrothermal Systems // Economic Geology, 1995. Vol. 90. P. 1167–1196.

**В. А. Симонов<sup>1</sup>, С. В. Ковязин<sup>1</sup>, В. В. Масленников<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> – Институт геологии и минералогии СО РАН, г. Новосибирск  
simonov@uiggm.nsc.ru

<sup>2</sup> – Институт минералогии УрО РАН, г. Миасс

### **Физико-химические параметры магматических систем на Валенторском колчеданном месторождении (Северный Урал)**

Рудные тела Валенторского медно-цинковоколчеданного месторождения находятся в тесной ассоциации с силурийским риолит-базальтовым комплексом. В разрезе месторождения выделяются три толщи: подушечные базальты, диабазы, гиа-локластиты, яшмы и силициты; андезиты и дациты, с телами базальтов и колчеданными залежами; надрудные гематитизированные риодациты [Медноколчеданные..., 1988; Масленников, 2006]. Таким образом, геологические данные свидетельствуют о явной связи риолит-базальтового магматизма и сульфидных руд. В связи с этим, представляет значительный интерес выяснение условий формирования магматических систем, действовавших в непосредственной близости и практически одновременно с формированием Валенторского месторождения.

В ходе работ в карьере Валенторского месторождения была собрана коллекция пород, представляющая риолит-базальтовый комплекс. По содержанию SiO<sub>2</sub> (от 52 до 72 мас. %) изученные породы варьируют от базальтов до андезитов и риодацитов. По минеральному составу это порфириты с вкрапленниками клинопироксена и плагиоклаза и кварцевые порфиры. При обработке коллекции выяснилось, что практически все образцы интенсивно изменены, и только в случае базальтовых порфиритов