УДК 550.4:550.42:546

К ГЕОХИМИИ СУЛЬФИДНЫХ МИНЕРАЛОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СОЛОНЕШЕНСКОГО РУДНОГО РАЙОНА ГОРНОГО АЛТАЯ

Гусев А.И.

Алтайская государственная академия образования им. В.М. Шукшина, Бийск, e-mail: anzerg@mail.ru

В статье приведены данные по распределению элементов-примесей в сульфидах различных геолого-промышленных типов оруденения (магмо-рудно-метасоматических систем) Солонешенского рудного района Алтая. Приведены данные по температурам кристаллизации минералов и вариациям содержаний изотопов серы в пиритах ($\delta^{34}S$). Выявлены типоморфные геохимические ассоциации элементов в халькопиритах и борнитах. Для золото-черносланцевого оруденения типоморфными одновременно в халькопирите и борните являются Zn, Bi, In, Sn, Mn, Se, Te, Zr, Au. Типоморфными для сульфидов жильного оруденения являются Pb, Ag, Cd, As, Ga, W, As, Au. Типохимизм сульфидов золото-медно-скарнового оруденения проявлен в отношении Co, Au.

Ключевые слова: геохимия, типоморфные геохимические ассоциации, изотопы серы, температуры кристаллизации минералов, Zn, Bi, In, Sn, Mn, Se, Te, Zr, Au, Co, As, Ag

TO GEOCHEMISTRY OF SULFIDE MINERALS OF DEPOSITS SOLONESHENSKII ORE DISTRICT MOUNTAIN ALTAI

Gusev A.I.

The Shukshin Altai State Academy of Education, Biisk, e-mail: anzerg@mail.ru

Data on distribution of element-admixtures in sulfides of different geology-minable types ore mineralization (magmo-ore-metasomatic ststems) of Soloneshenskii ore district of Altai lead in paper. Data of temperature crystallization of minerals in ores and variation of contains isotopes of sulfur (($\delta^{34}S$) in sulfides lead. The typomorphic geochemical associations elements in chalcopyrites and bornites discovered. Zn, Bi, In, Sn, Mn, Se, Te, Zr, Au appear in chalcopyrites and bornites the typomorphic simultaneously. The typomorphic elements for sulfides of lodes ore mineralization appear Pb, Ag, Cd, As, Ga, W, As, Au. Typochimizm of sulfides deposits gold-copper-skarns display in relation of Co, Au.

Keywords: geochemistry, typomorphic geochemical associations, isotopes of sulfur, temperatures of crystallization of minerals, Zn, Bi, In, Sn, Mn, Se, Te, Zr, Au, Co, As, Ag

Геохимия сульфидных минералов в рудных месторождениях имеет важное значение, так как часто концентрации элементов-примесей и их соотношения являются показателями генезиса месторождений, их формационной и геолого-промышленной принадлежности [1, 5]. В Солонешенском рудном районе распространены различные геолого-промышленные типы оруденения: 1 – жильное медно-сульфидное, 2 – золото-медно-скарновое, 3 – золото-черносланцевое.

Цель исследования – проанализировать геохимические особенности сульфидов различных геолого-промышленных типов оруденения.

Результаты исследований**.** В Солонешенском рудном районе выделяются два рудных поля: Топольнинское и Солонешенское [2]. Солонешенское медно-полиметаллическое рудное поле с золотом расположено к северо-западу от Топольнинского золото-медно-скарнового и приурочено к выходам габброидов топольнинского и дацитов куяганского (D_2) комплексов. Топольнинское рудное поле в пределах Сарасино-Инской зоны приурочено к поперечной Караминской зоне разлома СЗ ориентировки, контролирующей положение Топольнинской и Мало-Топольнинской интрузий. В контактах указанных массивов (размерами 4,5×2 и 2,5×1,5 км, соответственно) сформированы скарновые обазования с разнообразной наложенной продуктивной минерализацией. Внедрение вышеупомянутых интрузий произошло в весьма благоприятные для скарнирования карбонатно-терригенные и карбонатные образования полатинской (S_1pl) и камышенской (D_1km) свит. Породы свит смяты в крупную Топольнинскую грабен-синклиналь СЗ ориентировки, ядерная часть которой интрудирована гранитоидами вышеупомянутых массивов. Структура рудного поля относится к комбинированному типу и сочетает в себе синклиналь, осложненную серией разломов. В районе месторождения Лог № 26 синклиналь пересечена разломом СЗ направления (правый сдвиг). В результате рудовмещающие металлотекты вдоль него развернуты и имеют простирания в восточных румбах. Терригенные породы вблизи контактов с интрузиями ороговикованы с образованием спилозитов и десмо-

зитов, а известняки превращены в мрамора. Ширина зон ороговикования, в зависимости от положения кровли интрузивов, варьирует от 0,5 до 2 км. Все известное оруденение Топольнинского рудного поля совпадает с ореолом ороговикованных пород. Скарны в рудном поле биметасоматические и инфильтационные. Последние преобладают. Мощность скарновых линз и залежей варьируют от 3 до 50 м, протяженности по простиранию – от 150 до 800 м; общая мощность поля скарнированных пород в западном экзоконтакте Мало-Топольнинского массива достигает 500-1000 м.

Золоторудная минерализация в виде самородного золота установлена по всему разрезу скарнированных пород. Наиболее концентрированное оруденение локализовано на месторождениях Баяниха и Лог № 26 в тектонических ловушках среди скарнов. На месторождении Баяниха рудные тела длиной от 150 до 700 м и мощностью от 1 до 13 м залегают в максимально скарнированных пачках пород. Средние содержания золота в рудах меняются от 1 до 7,25 г/т (в конкретных пробах разброс концентраций золота от 0,5 до 120 г/т), меди от 0,1 до 2%. Оруденение наложено на скарны, скарнированные роговики, породы интрузивных массивов и их дайковые фации. Общая последовательность минералообразования в скарнах описана ниже.

Ранние геденбергитовые образования – первая стадия гидротермального цикла, встречаются лишь в биметасоматических скарнах на месторождениях Баяниха и Сухая Грива. Это проградирующие эндоскарны, образованные по гранодиоритам и гранитам. Они имеют форму линз мощностью до 1,1 м и сложены тесно ассоциирующими геденбергитом и плагиоклазом лабрадорового состава. Редко отмечаются кварц, актинолит и диопсид. В экзоскарнах биметасоматической и инфильтрационной природы ранний парагенезис представлен пироксен-гранатовой ассоциацией, тяготеющей к карбонатным образованиям вмещающих металлотектов. Это массивные линзы мощностью от 3 до 15 м, протяженностью в несколько сотен метров. Такой парагенезис является преобладающим в скарнах. Ранний гранат представлен гроссуляром, а клинопироксен – диопсидом. Местами в этой ассоциации отмечается вкрапленность и гнезда магнетита, редко халькопирита.

Вторая стадия гидротермального цикла представлена большим числом минералов, образовавшихся в результате метасоматических ретроградных изменений ранней ассоциации. Как правило, они слагают прожилки, линзы и гнезда среди ранних скарновых парагенезисов. Здесь различаются несколько ассоциаций. На участках гранат-пироксеновых скарнов появляются новообразования граната-II андрадитового ряда и диопсида-II желтого и розового цветов. Гранат-II, как правило, идиоморфен и имеет зональное строение с аномальными оптическими характеристиками. Размеры выделений такого граната от 0,5 до 2 см. Нередко он имеет коричневато-оранжевый цвет. Другая ассоциация пространственно смещена к области развития карбонатных пород и представлена волластонитом, реже везувианом. В стратиформных залежах инфильрационной природы зональность скарновых тел может быть проявлена относительно одного или нескольких магмо- и флюидоподводящих каналов. В Топольнинском рудном поле на всех месторождениях реализован первый вариант. Проявлением такой зональности можно считать положение волластонита и везувиана в краевой фации скарновых зон по латерали, как это установлено нами ранее для месторождений Синюхинского и Майского рудных полей [3].

Третья стадия гидротермального цикла включает две ассоциации: тремолит-актинолитовую и кварц-альбит-эпидотовую с пиритом. Они встречаются в виде прожилков и гнезд среди ранее отложенных скарновых агрегатов, пересекают постскарновые метасоматические образования, а также располагаются среди ороговикованных алюмосиликатных и карбонатных пород далеко за пределами скарнов.

Продуктивная минерализация (четвертая стадия гидротермального цикла) формировалась после внедрения даек гранодиорит-порфиров и гранит-порфиров в Топольнинской магмо-рудно-метасоматической системе (МРМС) и даек сиенитов, гранофиро-сферолитовых лейкогранитов и умеренно-щелочных лейкогранитов (преимущественно гибридных пород) в Караминской МРМС. На эти дайки наложена альбит-кварц-эпидотовая ассоциация третьей стадии и минеральные агрегаты четвертой стадии. Преобладает в последней кварц III и IV генераций, несущий сульфидную минерализацию, которая представлена вкрапленностью (1-5 мм), гнездами (2×4 см), редко массивными выделениями

размерами 10×20 см. Из сульфидов присутствуют пирит, борнит, халькопирит, халькозин, тетраэдрит, алтаит, сфалерит, редко галенит и пирротин. Борнит наблюдается в виде ксеноморфных выделений, выполняющих пустоты в скарнах, часто в срастаниях с теннантитом и ковеллином. Нередко борнит с халькопиритом образуют структуры распада твердого раствора. По периферии борнит замещается каемками халькозина с расплывчатыми, зазубренными границами между зернами минералов. Ковеллин присутствует в небольшом количестве в виде табличек, развивающихся вдоль спайности халькозина или образует в нем радиально-лучистые агрегаты. Изредка встречается теннантит в виде выделений неправильной формы и коротких нитевидных прожилков. Алтаит отмечен в виде единичных зерен и зернистых агрегатов размером до 0,3 мм. Последний образует вкрапленность в борните и теннантите. Золото откладывалось в конце этой стадии в тесном парагенезисе с алтаитом, халькозином, борнитом. Размеры золотин колеблются от 0,05 до 0,6 мм. Форма их пластинчатая. Изредка металл образует октаэдрические кристаллики. Иногда золото отмечается в блеклой руде в виде единичных ксеноморфных зерен и тонких пластинок размером до 0,006 мм. В целом намечается три основных ассоциации золота с рудными минералами. Первая ассоциация характерна для Топольнинской МРМС, где самородное золото встречается в ассоциации с халькопиритом, борнитом и халькозином в тесном парагенезисе с алтаитом и тетрадимитом. Общее содержание сульфидов в рудах от 5 до 17%. Вторая и третья ассоциации проявлены в Караминской МРМС. Одна из них, безсульфидная, проявлена на месторождении Лог № 26, где золото распространено без сопутствующих рудных минералов и лишь изредка встречается совместно с тетрадимитом, содержание которого в рудах едва достигает 0,5%. Другая ассоциация, малосульфидная, фиксируется на проявлениях Рыбный Лог № 1 и Рыбный Лог № 2, где золото встречается совместно со сфалеритом и тетраэдритом, реже с халькопиритом. Общее количество сульфидов в этой ассоциации не превышает 1-2%.

Температуры кристаллизации скарновых минералов первой стадии на месторождении Баяниха составляли 450-640 °С. Солёность газово-жидких включений гранатов и пироксенов были довольно высоки (20–33 вес.% в эквиваленте NaCl). Температуры гомогенизации газово-жидких включений волластонита, эпидота, оранжевого диопсида дают интервал значений 380-195 ˚С. Резкое снижение солёности газово-жидких включений до 0,7-4,3 вес.% NaCl, вероятно, связано со смешением ювенильных растворов и вадозных вод, разбавивших концентрированные растворы. Продуктивная минерализация кристаллизовалась при ещё более низких температурах (190-310˚С) и из разбавленных растворов (0,4-3,2 вес.% NaCl). В составе включений в кварце IV генерации основную роль играли CO_2 и HCl. Подчинённое значение имели SO_2 и HF. Единичные определения соотношений изотопов серы в сульфидах описываемых МРМС дают незначительные отклонения от метеоритного стандарта. Для месторождения Баяниха в пирите II генерации $\delta^{34}S$ (‰) составляет +3,6, в борните от +2,7 до +3,1. Пирит такой же генерации месторождения Лог № 26 имеет более низкие концентрации тяжёлого изотопа серы и $\delta^{34}S$ (‰) колеблются от –1,2 до –2,2. Такие характеристики соотношений изотопов серы позволяют предположить её мантийный источник, характерный для неконтаминированных магм [6].

Геохимия рассмотрена для наиболее распространённых сульфидов: халькопирита и борнита. Содержания элементов-примесей в халькопиритах месторожений Солонешенского рудного района представлены в табл. 1. Для халькопиритов жильного месторождения Солонешенское I характерны самые высокие концентрации Pb, Ag, Cd, As, Ga, W в сравнении с халькопиритами других месторождений Солонешенского рудного района (табл. 1). В медном колчедане отмечается самые высокие концентрации кобальта и наименьшие содержания Pb, Zn, Ag, Sn, Mo, Te и Se. В халькопирите золото-черносланцевого месторождения Лог № 26 наблюдаются максимальные содержания таких элементов, как Zn, Bi, In, Sn, Mo, Se, Te, Zr, Au (табл. 1).

Для борнита месторождения Баяниха характерны повышенные и пониженные концентрации такого же спектра элементов, как и для халькопирита. В борните значительно выше концентрации золота, чем в халькопирите (табл. 2).

Для халькопиритов месторождения Баяниха отмечаются самые высокие концентрации Co и низкие концентрации селена, теллура, олова, умеренные – золота (табл. 1).

Таблица 1

Средние содержания элементов в халькопиритах Солонешенского рудного района

Элементы (г/т)	1, n=12	2, n=11	3, n=16	4, n=3	5, n=4	6, n=6
Mn	440,8	803,8	212,6	442,3	217,8	123,3
Ni	4,6	1,5	4,3	3,7	3,1	2,6
Co	15,9	2,3	82,8	42,2	32,3	9,8
Pb	1200	5,7	2,2	3,9	4,8	51,2
Zn	348	81,2	23,3	115,8	88,2	3120
Ag	132,3	50,3	21,3	42,8	41,9	51,6
Bi	115,6	5,4	6,9	7,3	8,5	2926,1
Cd	425,8	2,9	3,2	3,3	3,4	113,7
In	11,6	1,15	1,4	1,32	1,26	109,6
Sn	15,8	0,3	0,2	0,21	0,28	372,3
As	120,6	10,3	12,8	11,3	15,6	103,2
Mo	3,8	1,5	0,2	0,81	0,78	1265,1
Te	122,3	15,7	12,2	13,6	13,5	136,8
Zr	16,8	12,3	13,9	12,8	12,5	31,2
Ga	8,8	0,3	0,6	0,8	0,7	3,8
Au	3,9	1,9	3,4	3,5	2,9	6,7
W	5,4	0,5	0,51	0,62	0,66	3,3
Se	58,6	7,9	5,4	5,8	5,9	101,4
As/Se	2,05	1,3	2,37	1,94	2,64	1,0
Au/Ag	0,029	0,038	0,16	0,08	0,07	0,13

Примечание. Анализы выполнены количественным спектральным методом в Лаборатории Испытательного Западно-Сибирского центра (г. Новокузнецк). Месторождения и проявления: 1 – Солонешенское I, 2 – Сухая Грива, 3 – Баяниха, 4 – Рыбный Лог № 1, 5 – Рыбный Лог № 2, 6 – Лог № 26; n – количество анализов.

Таблица 2

Средние содержания элементов в борнитах месторождений Солонешенского рудного района

Элементы, г/т	1	2	3	4
Mn	165,4	150,2	203,1	152,6
Ni	7,7	4,1	5,7	41,3
Co	5,6	3,2	3,4	32,6
Pb	145,8	15,7	101,2	123,3
Zn	132,7	20,3	27,3	246,8
Ag	157,9	100,5	111,3	125,7
Bi	123,6	100,7	106,8	812,8
Cd	145,8	6,7	6,6	125,3
In	7,8	3,8	3,7	18,8
Sn	3,4	0,8	1,5	25,3
Mo	2,8	1,3	2,3	23,2
Te	132,6	115,6	123,3	202,3
Zr	9,8	7,8	6,7	22,3
Ga	15,6	0,6	0,5	7,1
Au	34,1	30,6	81,3	85,6
W	15,7	0,5	0,8	8,3
V	4,1	1,2	1,3	4,1
Se	10,7	8,9	9,3	16,2
As	145,6	7,7	6,8	113,8
As/Se	13,6	0,86	0,73	7,02
Au/Ag	0,21	0,30	0,73	0,68

Примечание. Анализы выполнены количественным спектральным методом в Лаборатории Испытательного Западно-Сибирского центра (г. Новокузнецк). Месторождения и проявления: 1 – Солонешенское I, 2 – Сухая Грива, 3 – Баяниха, 4 – Лог № 26; n – количество анализов.

В борните золото-черносланцевого месторождения Лог № 26 максимальные концентрации имеют элементы Ni, Co, Zn, Bi, In, Sn, Mn, Se, Te, Zr, Au.

Отношения As/Se в сульфидах различны. В халькопирите жильного месторождения

Солонешенское I это отношение составляет 2,05, а в скарновых месторождениях варьирует от 1,3 до 2,64 (среднее 2,06). Самые низкие отношения As/Se зафиксированы в халькопирите золото-черносланцевого месторождения Лог № 26.

Иная картина отношений As/Se намечается для борнитов. Наибольшая величина отношения свойственна жильному медно-сульфидному месторождению Солонешенскому I (13,6), а минимальная – золото-медно-скарновым объектам (менее 1) (табл. 2). Борнит золото-черносланцевого месторождения Лог № 26 имеет промежуточные цифры отношений As/Se (7,02).

Интерпретация результатов. Таким образом, в сульфидах разных геолого-промышленных типов оруденения Солонешенского рудного района наблюдаются различные уровни концентраций химических элементов и отношений элементов. На основании приведенных данных выявляются типоморфные ассоциации химических элементов. Так для золото-черносланцевого оруденения типоморфными одновременно в халькопирите и борните являются Zn, Bi, In, Sn, Mn, Se, Te, Zr, Au. Типоморфными для сульфидов жильного оруденения являются Pb, Ag, Cd, As, Ga, W, As, Au. Типохимизм сульфидов золото-медно-скарнового оруденения проявлен в отношении Co, Au.

Следовательно типохимические ассоциации химических элементов-примесей в сульфидах различных геолого-промышленных типов оруденения Солонешенского рудного района могут использоваться для типизации различных типов оруденения.

Выводы

Геохимические особенности распределения элементов-примесей в судьфидах различных геолого-промышленных типов оруденения Солонешенского рудного района проявляют определённые закономерности.

Для сульфидов – жильного медно-сульфидного, золото-медно-скарнового и золото-черносланцевого типов оруденения характерны типохимические ассоциации элементов-примесей.

Типохимические ассоциации химических элементов-примесей в сульфидах различных геолого-промышленных типов оруденения Солонешенского рудного района могут использоваться для типизации различных типов оруденения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гусев А.И. Селен и теллур в пиритах медных и свинцово-цинковых месторождений Северного Кавказа // Геохимия, 1978. – № 4. – С.602-606.

2. Гусев А.И. Минерагения и полезные ископаемые Алтайского края. – Бийск: Изд-во ГОУВПО АГАО, 2011. – 365 с.

3. Гусев А.И. Металлогения золота: на примере Горного Алтая и Горной Шории. – Gamburgh: Palmarium Academic Publishing, 2012. – 370 с.

4. Гусев А.И. Типизация золото-содержащих скарновых объектов Горного Алтая // Успехи современного естествознания, 2013. – № 11. – С. 23-28.

5. Черницын В.Б., Гусев А.И. Висмут и сурьма в галенитах медных и полиметаллических месторождений Северного Кавказа // Доклады АН СССР, 1977. – Т.225. – № 5. – С. 567-570.

6. Ohmoto H., Rye R.O Isotopes of sulfur and carbon / Geochemistry of hydrothermal ore deposits. – New York: John Willy Sons. – 1979. – Pp.509-567.