

УДК 549.09

МИНЕРАЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РУД ЗОНЫ ВТОРИЧНОГО ОБОГАЩЕНИЯ ТОМИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ МЕДИ (ЮЖНЫЙ УРАЛ)

Е.М. Курчевская¹, М.В. Яхно²

¹НИИПИ «Технологии обогащения минерального сырья», 664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83а.

²Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83.

Приведены результаты изучения руд зоны вторичного обогащения Томинского месторождения. Цель исследований состояла в определении технологических свойств материала для дальнейшего выбора технологии переработки руды. Приведены данные минералогического, гранулометрического, химического и фазового анализов.

Минералогический анализ руды выполнен на материале крупностью -2 мм. Приведен минеральный состав пробы руды. Рудные минералы изучены в полированных шлифах в отраженном свете. Описаны формы зерен, взаимные сростания и порядок выделения минералов. Определен химический состав халькопирита с применением минерального комплекса Qemscan на базе электронного сканирующего микроскопа QuantaFEG 650 F. Измерение проводилось в режиме X-Ray-излучения детектором Bruker. Представлены результаты анализа. Определен гранулометрический состав руды. Отмечена крупность материала, при которой происходит концентрация ценного компонента. Дана характеристика концентраций материала в крупных и тонких классах. Указана массовая доля меди, максимальное ее содержание и распределение по классам крупности. Получены содержания и концентрации золота, молибдена, железа и серы по классам крупности. Химический состав пробы руды определяли с применением оптико-эмиссионного (анализы ICP90, ICP40) и атомно-абсорбционного методов анализа. Содержание золота и серебра определялось пробирным методом. Количество углерода выявляли методом ИК-спектрии. С целью установления фаз меди выполнен фазовый анализ, который показал, что ценный элемент находится в четырех разных фазах.

По характеристикам проба относится к малосульфидному медно-порфировому типу руды. Породообразующие минералы представлены главным образом кварцем и глинисто-сланцевыми минералами. Рудные минералы – это сульфиды, гидроксиды железа и карбонаты меди. В среднем по данным ситового анализа массовая доля меди в руде составляет 0,944%. В результате химического анализа выявлено, что проба руды зоны вторичного обогащения на 87,5% представлена литофильными компонентами. Массовая доля цветных металлов (кроме меди), а также мышьяка и сурьмы не превышает тысячных долей процента и не вызовет осложнений при дальнейшей переработке руды. Ценным компонентом в руде Томинского месторождения является медь. На долю окисленной меди в руде зоны вторичного обогащения приходится 0,09%.

Ключевые слова: Томинское месторождение; руда зоны вторичного обогащения; ценный компонент; класс крупности; генерация; минеральный и химический состав.

MINERALOGICAL DESCRIPTION OF ORES FROM TOMINSKOE COPPER DEPOSIT SECONDARY ENRICHMENT ZONE (SOUTH URAL)

E.M. Kurchevskaya, M.V. Yakhno

NIPI TOMS (Scientific Research and Design Institute “Technologies of Minerals Separation”), 83a Lermontov St., Irkutsk, 664074, Russia.

Irkutsk National Research Technical University, 83 Lermontov St., Irkutsk, 664074, Russia.

The article reports on the results of studying the ores of Tominskoe deposit secondary enrichment zone. The purpose of the study is identification of material processing behavior and following selection of the technology for ore processing. The data of mineralogical, grain size, chemical and phase analyses are given.

¹Курчевская Елена Михайловна, старший научный сотрудник, тел.: 89140095860, e-mail: kurchevskaya@tomsgroup.ru

Kurchevskaya Elena, Senior Researcher, tel.: 89140095860, e-mail: kurchevskaya@tomsgroup.ru

²Яхно Марина Владиславовна, старший преподаватель кафедры геологии и геохимии полезных ископаемых, e-mail: ymar@istu.edu

Yakhno Marina, Senior Lecturer of the Department of Geology and Geochemistry of Minerals, e-mail: ymar@istu.edu

The ore with the coarseness of -2 mm has been used for the mineralogical analysis. The mineral composition of an ore sample is given. Ore minerals are examined in polished sections under reflected light. The shapes of grains, intergrowths and the order of mineral separation are described. Application of the mineral complex Qemscan on the basis of electronic scanning microscope QuantaFEG 650 F allowed to determine chemical composition of chalcopyrite. The measurement was performed in X-ray-mode by a Bruker detector. Analysis results are provided. Ore grain size distribution is determined. Coarseness characteristic of valuable component concentration is specified. Concentrations of material in coarse and fine fractions are described. Mass fraction of copper, its maximal grade and distribution by size fractions are specified. Grades and concentrations of Au, Mo, Fe and S have been obtained by size fractions. Optical emission (ICP90, ICP40 analyses) and atomic absorption analysis methods have been used to determine the chemical composition of the ore sample. Fire assay is used to determine Au and Ag grades. C content has been identified through the use of infrared spectrometry. Phase analysis used to determine copper phases showed that valuable element presents in four different phases.

According to its properties, the sample refers to low-sulfide copper-porphyry ore type. Rock-forming minerals are mainly presented by quartz and clay-mica minerals. Ore minerals include sulfides, iron hydroxides and copper carbonates. According to screen analysis data, an average mass fraction of copper in the ore amounts to 0,944%. Chemical analysis of the ore sample from the secondary enrichment zone has shown that it is presented by lithophylous components by 87.5%. Mass fraction of base metals (other than copper) as well as arsenic and antimony is less than thousandths of one percent, therefore it won't cause any complications during the following ore processing. Copper is a valuable component in the ore from Tominskoe deposit. The proportion of oxidized copper in the ore of the secondary enrichment zone accounts for 0,09%.

Keywords: Tominskoe deposit; ore from secondary enrichment zone; valuable component; grain-size class; generation; mineral and chemical composition.

Томинское месторождение меди локализуется в пределах одноименного штока диоритов. Геологическое строение его охарактеризовано в работе В.М. Полосиной [7].

Руды зоны вторичного сульфидного обогащения залегают между нижней границей зоны окисления и кровлей первичных сульфидных руд.

В настоящей статье приводятся результаты изучения руд зоны вторичного обогащения Томинского месторождения, которые были получены с целью определения технологических свойств материала и предпосылок к дальнейшему выбору технологии переработки руды. Для выявления этих параметров выполнены минералогический, гранулометрический, химический анализы.

Минералогический анализ руды выполнен на материале крупностью -2 мм. Пробу исходной руды расситовывали на классы крупности от +1,0 до -0,05 мм с дальнейшим разделением их на тяжелую и легкую фракции (плотность 2,9 г/см³). Тяжелые фракции делили на магнитную, электромагнитную и немагнитную фазы. Все полученные продукты изучались под бинокулярным микроскопом (табл. 1) [5].

Из табл. 1 видно, что минеральный состав пробы руды зоны вторичного обогащения Томинского месторождения на 93,4% сложен порообразующими минералами, основными из которых являются кварц (39%) и глинисто-слюдистые минералы (38%), представленные мусковитом, серицитом, каолинитом, парагонитом и монтмориллонитом. Хлорит в пробе находится в значительном количестве – 16%. Суммарное количество карбонатов, представленных кальцитом и доломитом, не превышает 0,4%. В пробе присутствуют акцессорные минералы, количество которых в сумме составляет 0,6%.

Рудные минералы представлены сульфидами (3,2%) и гидроксидами железа (2,7%). Карбонаты меди – малахит и азурит – составляют 0,1% от общей массы пробы руды. В составе сульфидов главными являются пирит (1,5%) и халькопирит (1,0%). Вторичные сульфиды меди составляют 0,7% от общей массы руды и представлены в большей степени халькозином и в меньшей степени борнитом и ковеллином.

По количеству сульфидов в пробе руда зоны вторичного обогащения характеризуется как малосульфидная [6].

Степень окисления руды зоны вторичного обогащения, рассчитанная

Таблица 1

Минеральный состав пробы руды зоны вторичного обогащения

Минералы, группы минералов	Массовая доля, %
Породообразующие минералы	
Кварц	39,0
Мусковит, серицит	10,0
Хлорит	16,0
Глина (парагонит, каолинит, монтмориллонит)	28,0
Карбонаты (кальцит, доломит)	0,4
Рудные минералы	
Сульфиды, в том числе:	3,2
пирит	1,5
халькопирит	1,0
халькозин	0,5
борнит, ковеллин	0,2
сфалерит	единичные знаки
молибденит	единичные знаки
Малахит, азурит	0,1
Гидроксиды железа (гетит, лимонит)	2,7
Акцессорные минералы	
Рутил, сфен, барит, хромшпинелиды	0,6
<i>Итого</i>	<i>100,0</i>

по меди, составляет 9%, что характеризует ее как первичную руду [3].

В тяжелой фракции, изученной под бинокулярным микроскопом, видно, что основным минералом меди в пробе переходной руды является халькопирит, представленный ксеноморфными зернами, реже обломками кристаллов. Поверхность первичного сульфида меди – с радужной, иногда синеватой побежалостью.

При исследовании полированных шлифов выявлены ассоциации рудных минералов и порядок их выделения [2, 8]. Минеральный состав этих руд в основном аналогичен первичным сульфидным рудам и отличается от последних меньшим количеством реликтового халькопирита и присутствием халькозина и иногда ковеллина.

Пирит образует гипидиоморфные бластозерна с ситовидным строением [1]. Для него характерны включения породообразующих минералов и халькопирита.

Халькопирит находится в тесной ассоциации с пиритом: заполняет трещины в пирите с образованием нитевидной и грубопелетчатой структур (рис. 1). Зерна, вкрапленные в пирит, в меньшей степени подвергнуты замещению вторичными сульфидами меди. Частицы халькопирита, находящиеся в сростках с пиритом и имеющие свободные контуры зерен, замещаются халькозином и ковеллином. Мономинеральные зерна халькопирита наблюдаются в виде аллотриоморфных вкраплений в породе и чаще всего замещаются халькозином по краям зерен и по трещинам. Также характерны замещения халькопирита ковеллином и борнитом с образованием структур остатков от замещения и псевдоморфоз (рис. 2, 3).

Халькозин встречается в ассоциации с халькопиритом, замещая его по контурам и пропитывая трещины в зернах халькопирита (см. рис. 1, 2). Ковеллин возникает из халькопирита, иногда замещая его практически полностью.

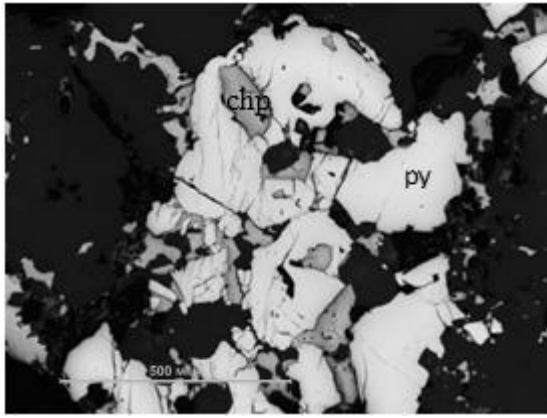


Рис. 1. Включения халькопирита в пирите. Полированный шлиф. Py – пирит; chr – халькопирит

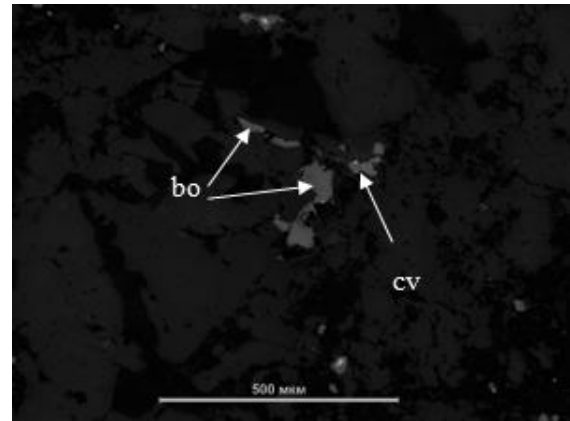


Рис. 3. Реликты халькопирита, замещенного ковеллином и борнитом. Полированный шлиф. Bo – борнит; cv – ковеллин

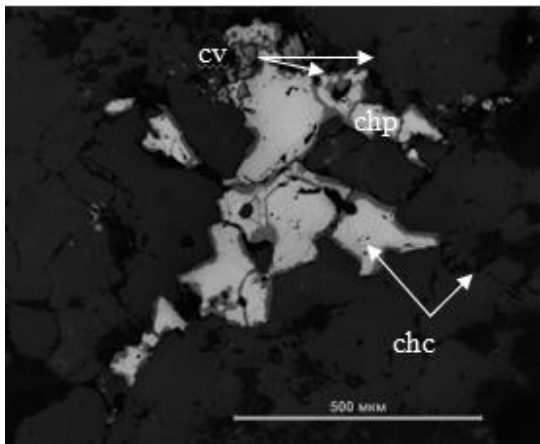


Рис. 2. Замещение халькопирита халькозином и ковеллином. Полированный шлиф. Chr – халькопирит; cv – ковеллин; chc – халькозин

В ковеллине отмечаются реликты халькопирита (см. рис. 1–2).

Борнит находится в тесном срастании с халькопиритом (см. рис. 3). Определение химического состава основного минерала – носителя меди, а таковым является халькопирит, выполнено с применением минерального автоматизированного комплекса Qemscan на базе электронного сканирующего микроскопа QuantaFEG 650 F. Измерение проводилось в режиме X-Ray-излучения детектором Bruker (табл. 2).

Из табл. 2 видно, что состав изученных зерен характерен для халькопирита. Некоторые зерна имеют незначительные отклонения от стандартного состава. В них отмечается либо пониженное содержание серы, либо

более низкое по сравнению со стандартным составом содержание меди. Количество примесей в зернах колеблется от 0,6 до 8,42%.

Для определения гранулометрического состава руды, а также крупности материала, при которой происходит концентрация ценного компонента, выполнен ситовой анализ [4]. В ходе выполнения анализа определены содержания меди, золота, молибдена, железа и серы с распределением их по классам крупности. В связи с низким содержанием в руде серебра (менее 0,2 г/т) его распределение по фракциям не оценивалось. В табл. 3 представлен гранулометрический состав пробы руды зоны вторичного обогащения Томинского месторождения.

По данным ситового анализа в пробе руды зоны вторичного обогащения отмечается концентрация материала в крупных классах в интервале крупности $-2+0,5$ мм – 36,5% и в тонком классе -20 мкм – 25,7%. В средних классах крупности материал пробы распределяется равномерно с заметным понижением выхода класса $-0,1+0,071$ мм до 2,3% (рис. 4).

Содержание золота в пробе составляет 0,148 г/т. В классах крупности этот показатель колеблется незначительно: минимальное значение составляет 0,109 г/т в классе крупности $-0,5+0,315$ мм, максимальное значение

Таблица 2

Химический состав халькопирита в руде зоны вторичного обогащения

Номер зерна	Массовая доля элемента, %			
	Fe	S	Cu	Примеси
1	31,70	33,60	34,10	0,60
2	31,14	28,65	32,80	7,41
3	31,40	30,00	33,31	5,29
4	31,14	30,65	34,00	4,21
5	29,32	28,66	33,60	8,42
6	30,95	31,30	32,10	5,65
7	31,30	32,30	33,90	2,50

0,191 г/т зафиксировано в классе -0,1+0,071 мм.

Содержание молибдена в пробе исходной руды находится на уровне 0,007% и в классах крупности колеблется незначительно от 0,0045 до 0,0097%. Минимальное значение зафиксировано в классе крупности -0,5+0,315 мкм, максимальное значение – в классе -20 мкм.

Массовая доля меди в руде составляет 0,944%. На рис. 4 показано распределение меди по классам крупности с содержанием ценного компонента в каждом классе.

На диаграмме видно, что по классам крупности медь распределяется неравномерно. Максимальная доля меди концентрируется в классах крупности

+0,1 мм. В интервале крупности -0,1+0,045 мм этот показатель резко падает. Однако здесь зафиксированы максимальные показатели по содержанию меди – 1,66-1,7%. В тонком классе крупности при максимальном выходе материала распределение в нем меди незначительное – 10,78%, а содержание металла минимальное – 0,396%.

Содержание железа в пробе составляет 4,5% с колебаниями этого значения в разных классах крупности от 3,8% (-0,1+0,071 мм) до 5,2% в верхнем классе крупности.

Количество серы в исходной руде составляет 1,39%. В интервале крупности 0,045–0,5 мм массовая доля серы

Таблица 3

Гранулометрический состав пробы руды зоны вторичного обогащения

Продукт	Выход, %	Σ γ, %	Содержание Au, г/т	Распределение Au, %	Содержание Mo, %	Распределение Mo, %	Содержание Cu, %	Распределение Cu, %	Содержание Fe, %	Распределение Fe, %	Содержание S, %	Распределение S, %
-2+1	20,6	100,0	0,186	25,88	0,0068	20,06	1,000	21,83	5,20	23,80	1,30	19,28
-1+0,5	15,9	79,40	0,137	14,71	0,0063	14,20	0,930	15,67	4,80	16,96	1,58	18,08
-0,5+0,315	9,80	63,50	0,109	7,21	0,0045	6,28	1,100	11,42	4,20	9,15	2,27	16,01
-0,315+0,2	6,40	53,70	0,142	6,14	0,0051	4,62	1,220	8,27	4,30	6,11	2,56	11,79
-0,2+0,1	8,90	47,30	0,115	6,91	0,0051	6,43	1,480	13,96	4,10	8,11	2,56	16,40
-0,1+0,071	2,30	38,40	0,191	2,97	0,0053	1,74	1,700	4,14	3,80	1,94	2,29	3,79
-0,071+0,045	2,90	36,10	0,114	2,23	0,0080	3,30	1,660	5,10	3,95	2,55	2,04	4,26
-0,045+0,020	7,50	33,20	0,115	5,83	0,0074	7,91	1,110	8,82	4,10	6,83	0,93	5,02
-0,020+0	25,7	25,70	0,162	28,12	0,0097	35,46	0,396	10,78	4,30	24,55	0,29	5,36
<i>Итого</i>	<i>100,0</i>	<i>–</i>	<i>0,148</i>	<i>100,0</i>	<i>0,0070</i>	<i>100,0</i>	<i>0,944</i>	<i>100,0</i>	<i>4,50</i>	<i>100,0</i>	<i>1,39</i>	<i>100,0</i>

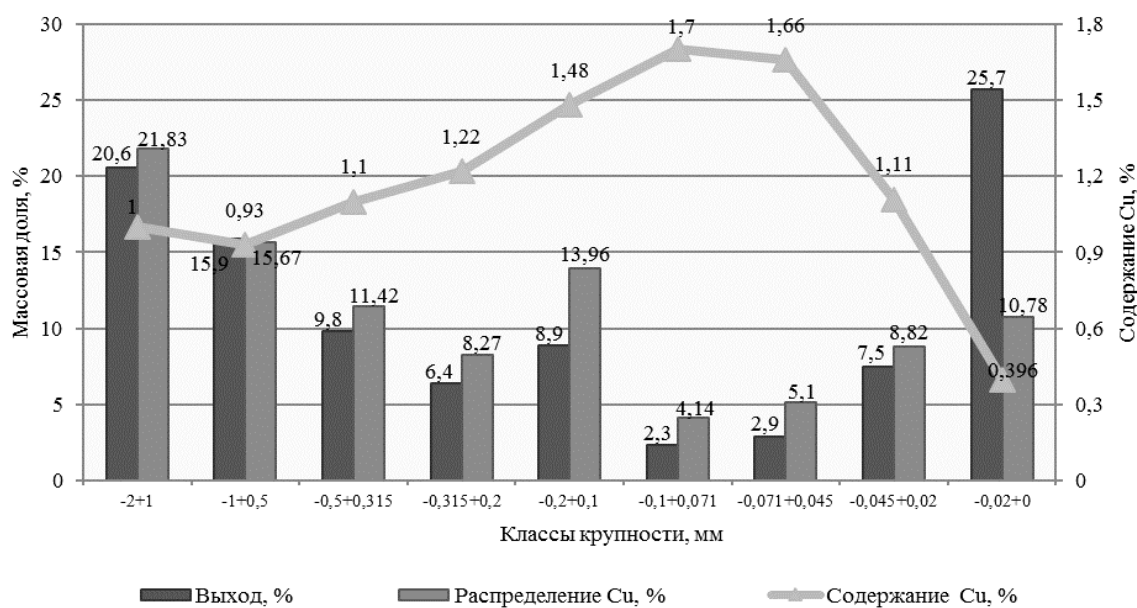


Рис. 4. Гранулометрическая характеристика пробы руды зоны вторичного обогащения при крупности дробления -2 мм с распределением меди по классам крупности

находится на уровне 2,04–2,56%. Минимальное значение данного показателя зафиксировано в классе -20 мкм и составляет 0,29%.

Распределение по классам крупности золота, молибдена и железа пропорционально выходу классов с незначительным возрастанием доли золота и молибдена во фракции -20 мкм.

Химический состав пробы руды определяли с применением оптико-эмиссионного (анализы ICP90, ICP40) и атомно-абсорбционного методов анализа. Содержание золота и серебра определялось пробирным методом. Количество углерода выявляли методом ИК-спектроскопии (табл. 4).

По данным, представленным в таблице, выявлено, что проба руды сложена главным образом литофильными компонентами, основным из которых является кремнезем, его доля в пробе составляет 65,1%. Количество глинозема в пробе находится на уровне 17,2%. На долю щелочных металлов приходится 2,54%, причем Na₂O незначительно преобладает над K₂O. Содержание оксида магния составляет 2,49%.

Количество углерода не превышает 0,053%, при этом весь углерод входит в состав карбонатов.

Рудные элементы представлены железом, медью, также присутствует сера. Количество молибдена в пробе № 2 составляет 0,005%. Общая масса железа находится на уровне 4,21%, из них 76% представлено окисленной формой. Доля сульфидного железа составляет 1,0%. На долю серы приходится 1,37% от общей массы пробы, при этом окисленной серы не более 0,1%.

Ценным компонентом в переходной руде Томинского месторождения является медь. Ее содержание составляет 0,97%. С целью установления фаз меди выполнен фазовый анализ (табл. 5) [9], который показал, что ценный элемент находится в четырех разных фазах. Основная масса меди сосредоточена в сульфидной форме (0,88%), которая в свою очередь подразделяется на первичные сульфиды (0,37%) и вторичные сульфиды меди (0,51%). На долю окисленной меди в руде зоны вторичного обогащения приходится 0,09%, и она, в свою очередь, делится на «свободную» медь (0,043%) и «связанную» медь (0,047%).

Содержание золота в пробе руды зоны вторичного обогащения составляет 0,148 г/т, серебра по результатам пробирного анализа – 0,5 г/т.

Таблица 4

Химический состав пробы руды зоны вторичного обогащения

Элемент, компонент	Массовая доля, %	Элемент, компонент	Массовая доля, %
SiO ₂	65,1	Cr	0,013
Al ₂ O ₃	17,2	Co	0,003
CaO	0,12	La	<0,001
K ₂ O	1,18	Li	<0,001
MgO	2,49	Mo	0,005
Na ₂ O	1,36	Ni	0,002
P ₂ O ₅	<0,02	Pb	<0,002
TiO ₂	0,6	Sb	<0,005
MnO	0,03	Sc	<0,0005
C _{общ.}	0,053	Sn	<0,005
CO ₂ карб.	0,196	Sr	0,018
Fe _{общ.}	4,21	V	0,021
Fe _{окисл.}	3,21	W	0,007
Fe _(s)	1,0	Y	0,0015
S _{общ.}	1,37	Zn	0,005
S _{окисл.}	0,01	Se	0,00056
Cu	0,97	Te	0,00022
As	<0,003	Re	0,0000048
Ba	0,016	Au, г/т	0,148
Be	<0,0005	Ag, г/т	0,5
Cd	<0,001		

Таблица 5

Фазовый анализ меди в пробе первичной руды

Медь общая, %	Медь окисленная (оксиды, силикаты, карбонаты, сульфаты), %			Медь сульфидная, %		
	Сu общая окисленная	Сu «свободных» окисленных минералов	Сu «связанных» окисленных минералов	Сu общая сульфидная	Сu первичных сульфидов	Сu вторичных сульфидов
0,97	0,09	0,043	0,047	0,88	0,37	0,51
100	9,3	4,4	4,8	90,7	38,1	52,6

Содержание золота в пробе руды зоны вторичного обогащения составляет 0,148 г/т, серебра по результатам пробирного анализа – 0,5 г/т.

Выводы. Формирование месторождения носило полистадийный характер. Рудоотложение происходило в поздний этап, когда и был образован комплекс метасоматитов с прожилково-вкрапленными медно-порфирированными рудами.

Проба руды зоны вторичного обогащения Томинского месторождения характеризует малосульфидный медно-

порфириновый тип руды. Ценным компонентом в руде является медь. Степень окисления руды, рассчитанная по меди, составляет 9%, что соответствует первичным рудам.

Минеральный состав этих руд в основном аналогичен первичным сульфидным рудам и отличается от последних меньшим количеством реликтового халькопирита и присутствием халькозина и иногда ковеллина.

Основными минералами, слагающими руду, являются порообразующие, которые представлены главным

образом кварцем и глинисто-слюдистыми минералами. Суммарная доля литофильных минералов составляет 93,4%. На долю аксессуарных минералов приходится 0,6% массы руды.

Рудные минералы представлены сульфидами (3,2%) и гидроксидами железа (2,7%). Карбонаты меди – малахит и азурит – составляют 0,1% от общей массы пробы руды. В составе сульфидов основными являются пирит (1,5%) и халькопирит (1,0%). Вторичные сульфиды меди составляют 0,7% от общей массы руды и представлены в большей степени халькозином и в меньшей степени борнитом и ковеллином.

Халькопирит – основной минерал, носитель меди в руде. По содержанию основных элементов он соответствует стандартному составу. Количество примесей в нем колеблется от 0,6% до 8,42%. Халькопирит находится в тесной ассоциации с пиритом, они образуют взаимные прорастания друг с другом. По халькопириту в виде каемок по контурам зерен развиваются вторичные сульфиды, представленные халькозином, борнитом и ковеллином. В руде в незначительном количестве присутствуют карбонаты меди.

Ситовой анализ исходной руды крупностью -2 мм показал, что медь по классам крупности распределена неравномерно. Наибольшее содержание меди зафиксировано в промежуточных классах в интервале крупности 0,045–0,315 мм и составляет 1,22–1,7%. Во фракции -20 мкм содержание меди минимальное – 0,396%. В среднем по данным ситового анализа массовая доля меди в руде составляет 0,944%.

В результате химического анализа выявлено, что проба руды зоны вторичного обогащения на 87,5% представлена литофильными компонентами. Основным из них является кремнезем. В значительном количестве присутствуют глинозем, а также оксиды щелочных и щелочноземельных металлов. Рудные элементы представлены железом, медью и серой. Количество молибдена в

пробе – 0,005%. Общая масса железа находится на уровне 4,21%, из них 76% представлено окисленной формой. Доля сульфидного железа – 1,0%. На долю серы приходится 1,37% от общей массы пробы, при этом окисленной серы – не более 0,1%.

Массовая доля цветных металлов (кроме меди), а также мышьяка и сурьмы не превышает тысячных долей процента и не вызовет осложнений при дальнейшей переработке руды.

Доля главного компонента руды – меди – в пробе зоны вторичного обогащения составляет 0,97%, что совпадает с результатами ситового анализа. Основная масса меди сосредоточена в сульфидной форме (0,88%), которая, в свою очередь, подразделяется на первичные (0,37%) и вторичные сульфиды меди (0,51%). На долю окисленной меди в руде зоны вторичного обогащения приходится 0,09%.

Библиографический список

1. Атлас структур и текстур руд / С.И. Талдыкин, Н.Ф. Гончарик, Г.Н. Еникеева, Б.Б. Розина. М.: Государственное научно-техническое издательство литературы по геологии и охране недр, 1954. 267 с.
2. Бетехтин А.Г. Курс минералогии. М.: Государственное издательство геологической литературы, 1951. 542 с.
3. Васильева А.В., Лодейщиков В.В. Методические рекомендации по типизации руд, технологическому опробованию и картированию коренных месторождений золота. Иркутск: Изд-во ОАО «Иргиредмет», 1997. 163 с.
4. Леонов С.Б., Белькова И.О. Исследование полезных ископаемых на обогатимость: учеб. пособие. М.: Интернет Инжиниринг, 2001. 631 с.
5. Ли А.Ф. Минералогическое исследование руд цветных и редких металлов. М.: Государственное научно-техническое издательство литературы по горному делу, 1960. 220 с.

6. Петровская Н.В. Самородное золото (общая характеристика, типоморфизм, вопросы генезиса). М.: Наука, 1973. 347 с.

7. Полосина В.М. Отчет с технико-экономическим обоснованием постоянных разведочных кондиций и подсчетом запасов Томинского месторождения

медно-порфировых руд по состоянию на 01.01.2012 г. Лиц. ЧЕЛ 11874 ТР.

8. Рамдор П. Рудные минералы и их сростания. М.: Изд-во иностранной литературы, 1962. 1132 с.

9. Филиппова Н.А. Фазовый анализ руд и продуктов их переработки. Москва: Химия, 1975. 280 с.

Статья поступила 07.02.2015 г.