

## Геология и геохимия месторождений полезных ископаемых

УДК 549.09

### ПЕРВИЧНЫЕ СУЛЬФИДНЫЕ РУДЫ ТОМИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ МЕДИ (ЮЖНЫЙ УРАЛ)

**Е.М. Курчевская<sup>1</sup>, М.В. Яхно<sup>2</sup>**

Иркутский государственный технический университет, 664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83.

Приведены результаты изучения первичных сульфидных руд Томинского месторождения. Данные исследования проведены с целью определения технологических свойств материала и дальнейшего выбора технологии переработки руды. Для выявления этих параметров выполнены минералогический, гранулометрический, химический анализы.

Рудные минералы изучены в полированных шлифах в отраженном свете. Выделено по две генерации пирита, халькопирита и сфалерита. Описаны формы зерен и взаимные прорастания перечисленных минералов и халькозина, молибденита и борнита. Определен химический состав халькопирита - основного носителя меди в руде.

Определен гранулометрический состав руды. Отмечена крупность материала, при котором 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. Золото и молибден промышленной ценности не имеют и могут извлекаться попутно. Распределение серы по классам крупности указывает на то, что минералы, содержащие в своем составе серу (сульфиды), сосредоточены в конкретном интервале. Определен и проанализирован химический состав пробы руды, содержание золота и серебра, количество углерода. Используются различные методы исследования вещества. Установлены фазы меди: первичная сульфидная, вторичная сульфидная, "свободная" окисленная и "связанная" окисленная.

По характеристикам проба относится к убогосульфидному медно-порфировому типу руды. Рудные минералы относятся к сульфидам и гидроксидам железа. Основная масса сульфидов сложена халькопиритом и пиритом. Халькозин, борнит, сфалерит и молибденит находятся в руде в подчиненном количестве, а малахит и азурит – в виде единичных знаков. Ценным компонентом является медь. Основные компоненты представлены кремнеземом, глиноземом и оксидами кальция, магния, натрия и калия. Рудные элементы представлены железом и медью.

*Библиогр. 11 назв. Ил. 3. Табл. 5.*

*Ключевые слова: Томинское месторождение; первичный тип руды; ценный компонент; класс крупности; генерация; минеральный и химический составы.*

### PRIMARY SULPHIDE ORES OF TOMINSKOYE COPPER DEPOSIT (THE SOUTH URALS)

**E.M. Kurchevskaya, M.V. Yakhno**

Irkutsk State Technical University, 83 Lermontov St., Irkutsk, 664074, Russia.

---

<sup>1</sup>Курчевская Елена Михайловна, научный сотрудник Научно-исследовательского и проектного института «ТОМС», тел.: 89140095860, e-mail: [kurchevskaya@tomsgroup.ru](mailto:kurchevskaya@tomsgroup.ru)

Kurchevskaya Elena, Researcher, tel.: 89140095860, e-mail: [kurchevskaya@tomsgroup.ru](mailto:kurchevskaya@tomsgroup.ru)

<sup>2</sup>Яхно Марина Владиславовна, старший преподаватель кафедры геологии и геохимии полезных ископаемых, e-mail: [ymar@istu.edu](mailto:ymar@istu.edu)

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

The article presents the results of studying primary sulphide ores of Tominskoye deposit. The research data have been obtained in order to determine the processing properties of the material and to select the technology of ore processing. Mineralogical, particle size distribution (PSD) and chemical analyses have been performed to estimate the named parameters.

Ore minerals have been studied in polished sections under reflected light. Pyrite, chalcopyrite and sphalerite are discovered each in two generations. Grain shapes and interpenetrations are described for these minerals as well as for chalcocine, molybdenite and bornite. Chemical composition of chalcopyrite as the principal bearer of copper is determined.

Particle size distribution of the ore is identified. The coarseness of the ore that conditions the concentration of the valuable component is indicated. Mass fraction of copper, its maximum concentration and distribution by grain-size fractions are specified. Grades and concentrations of Au, Mo, Fe and S are obtained by the grain-size fractions. Gold and molybdenum do not have any commercial value and can be recovered as by-products. Sulfur distribution through the grain-size fractions indicates that S-containing minerals (mainly sulphides) are concentrated in a specific interval. Chemical composition of the ore sample as well as the content of Au and Ag and the quantity of C are determined and analyzed. Copper phases are indicated as follows: primary sulphide, secondary sulphide, "free" oxidized and "bound" oxidized.

According to its properties, the ore sample is referred to a low-sulphide copper-porphyry ore type. Ore minerals are presented by sulphides and iron hydroxides. The ground mass of sulphides is represented by chalcopyrite and pyrite. Chalcocite, bornite, sphalerite and molybdenite have been found in the ore in less amounts, and malachite and azurite – as single grains. Copper is an only valuable component. The base ore components are earth silicon, alumina, and calcium, magnesium, sodium and potassium oxides. Ore elements are presented by iron and copper.

11 sources. 3 figures. 5 tables.

Key words: Tominskoye deposit; primary type of ore; valuable component; grain-size fraction; generation; mineral and chemical composition.

Томинское месторождение меди локализуется в пределах одноименного штока диоритов. Наиболее полно геологическое строение его охарактеризовано в отчете В.М. Полосиной (2012).

В настоящей работе приводятся результаты изучения первичных сульфидных руд месторождения, которые были получены с целью определения технологических свойств материала и предпосылок к дальнейшему выбору технологии переработки руды [5]. 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/см<sup>3</sup>). Тяжелые фракции делили на магнитную, электромагнитную и немагнитную фазы. Все полученные продукты изучались под бинокулярным микроскопом [7].

Минеральный состав пробы первичной руды (табл. 1) на 95% сложен породообразующими минералами, основными из которых являются кварц –

27,5%, плагиоклазы – 22% и глинисто-слюдистые минералы – 29%, представленные мусковитом, серицитом, каолинитом и монтмориллонитом. Из других

Таблица 1  
Минеральный состав первичной руды

Минералы, группы минералов		Массовая доля, %
Породообразующие	Кварц	27,5
	Плагиоклазы	22,0
	Мусковит, серицит	9,0
	Хлорит	11,0
	Глина (каолинит, монтмориллонит)	20,0
	Карбонаты (кальцит, доломит)	5,0
Рудные	Сульфиды: в т.ч.	1,7
	пирит	0,7
	халькопирит	1,0
	халькозин	Знаки
	борнит	(≈0,02)
	ковеллин	Знаки
	сфалерит	Знаки
молибденит	Знаки	
	Малахит, азурит	Знаки
	Гидроксиды железа (гетит, лимонит), ярозит	3,3
Акцессорные	Рутил, сфен, циркон, барит, апатит	0,5
	Итого:	100,0

литофильных минералов, входящих в состав пробы, повышенные содержания имеют хлорит (11%) и карбонаты (кальцит, доломит) – 5%.

Рудные минералы представлены сульфидами – 1,7% и гидроксидами железа – 3,3%. В виде единичных знаков в руде отмечаются карбонаты меди – малахит и азурит.

Сульфиды в пробе первичной руды представлены, главным образом, пиритом – 0,7% и халькопиритом – 1,0%. Халькозин, борнит, ковеллин, а также сфалерит и молибденит находятся в руде в количестве единичных знаков.

По количеству сульфидов проба первичной руды относится к убого сульфидному типу [8]. Степень окисления первичной руды рассчитана по меди и составляет 3,3% [2]. Такой показатель подтверждает, что исследуемая проба характеризует первичный тип руд.

В тяжелой фракции, изученной под бинокулярным микроскопом, видно, что основным минералом меди в пробе первичной руды является халькопирит, представленный аллотриоморфными зернами, реже обломками кристаллов. На поверхности первичного сульфида меди наблюдается радужная, иногда синеватая побежалость. Отмечаются замещения халькопирита вторичными сульфидами меди: борнитом и халькозином.

При изучении полированных шлифов выявлены ассоциации рудных минералов и порядок их выделения [1, 9].

Пирит представлен двумя генерациями. Пирит первой генерации – это катаклазированные аллотриоморфные зерна, часто встречающиеся в тесном срастании с катаклазированным халькопиритом (рис. 1). Пирит второй генерации образует гипидиоморфные бластозерна с ситовидным строением [10]. Для него характерны включения порообразующих минералов, халькопирита, сфалерита и реже халькозина (рис. 2).

Халькопирит также образует две генерации. Халькопирит-1 представлен катаклазированными аллотриоморфными

зернами. По краям некоторых зерен отмечаются каемки халькозина. Халькопирит-2 – это включения в бластозернах пирита и отдельные аллотриоморфные зерна, в отличие от халькопирита-1, имеющие гладкую и относительно ровную поверхность в поперечном сечении. Часть зерен покрыта окисными пленками, по краям обнаружены каемки халькозина. Редкие зерна замещаются карбонатами меди с образованием структур остатков от замещения [3].

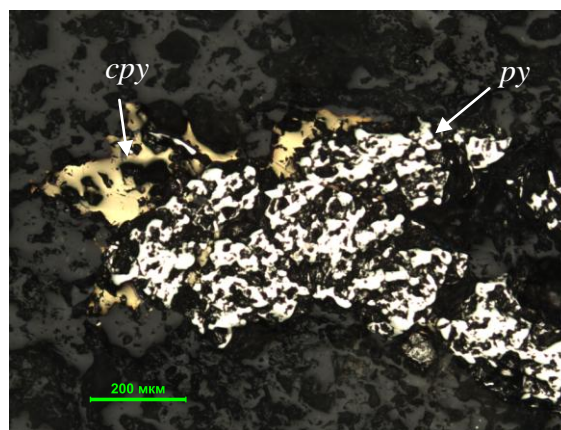


Рис. 1. Срасток катаклазированных зерен пирита и халькопирита. Полированный шлиф: ру – пирит; сру – халькопирит

Халькозин встречается по краям зерен халькопирита в виде каемок, чаще всего на границе с окисленными минералами.

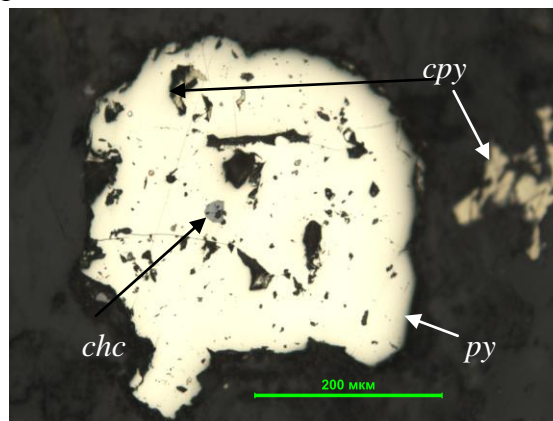


Рис. 2. Бластозерно пирита с включениями халькопирита и халькозина. Полированный шлиф: ру – пирит; сру – халькопирит; chc – халькозин

Молибденит образует редкие агрегаты тонких изогнутых таблитчатых зерен. Отдельные «таблички» имеют

гладкие слабоазубренные границы. Тесных взаимопрорастаний молибдита с другими сульфидами не наблюдается.

Сфалерит образует две генерации. Сфалерит-1 – это зерна аллотриоморфной формы слабокатаклазированные. Встречаются отдельные зерна и сростания с халькопиритом. Сфалерит-2 наблюдается в виде включений в бластомерах пирита [3].

Борнит находится в тесном сростании с халькопиритом в виде каемок по контурам зерен.

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 (табл. 2). Измерение проводилось в режиме X-Ray излучения детектором Bruker.

**Таблица 2**  
**Химический состав халькопирита в первичной руде**

Номер зерна	Массовая доля элемента, %			
	Fe	S	Cu	Примеси
1	31,03	32,90	33,4	2,67
2	30,84	25,91	33,7	9,55
3	30,80	35,30	33,6	0,30
4	31,90	32,22	34,4	1,48
5	31,20	31,40	33,5	3,90

Как известно, стандартное зерно халькопирита имеет следующий состав: Cu – 34,57%, Fe – 30,54%, S – 34,9%. Из табл. 2 видно, что состав изученных зерен характерен для халькопирита. Исключение составляет зерно №2 с отклонением по содержанию серы 25,91%. Количество примесей в зернах колеблется от 0,3 до 9,55%.

Для определения гранулометрического состава руды, а также крупности материала, при которой происходит концентрация ценного компонента, выполнен ситовой анализ [6]. В ходе выполнения анализа определено содержание 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 первичной руды Томинского месторождения.

По данным ситового анализа проба первичной руды характеризуется концентрацией материала в крупных классах в интервале крупности от -2 до +0,5 мм – 45%, и в шламовом классе -20 мкм – 18,9%. В целом, материал по классам крупности распределяется волнообразно. На рис. 3 наблюдается плавное понижение выходов фракций до промежуточного класса -0,1+0,071 мм с последующим повышением выходов

**Таблица 3**  
**Гранулометрический состав пробы первичной руды**

		Класс крупности, мм								Итого	
		-2+1	-1+0,5	-0,5 +0,315	-0,315 +0,2	-0,2 +0,1	-0,1 +0,071	-0,071 +0,045	-0,045 +0,020		-0,020 +0
Выход, %		28,00	17,00	7,80	6,50	8,60	2,50	3,50	7,20	18,90	100
∑ выход, %		100,00	72,00	55,00	47,20	40,70	32,10	29,60	26,10	18,90	–
Au	г/т*	0,064	0,067	0,062	0,126	0,102	0,108	0,104	0,108	0,089	0,082
	%**	21,84	13,88	5,89	9,98	10,69	3,29	4,44	9,48	20,50	100
Mo	%*	0,0059	0,0025	0,0060	0,0042	0,0062	0,0052	0,0066	0,0072	0,0078	0,0057
	%**	28,96	7,45	8,20	4,79	9,35	2,28	4,05	9,09	25,84	100
Cu	%*	0,329	0,366	0,364	0,381	0,397	0,442	0,525	0,520	0,394	0,383
	%**	24,05	16,25	7,41	6,47	8,92	2,89	4,80	9,78	19,44	100
Fe	%*	2,50	2,55	2,67	2,85	2,88	2,98	3,02	2,84	2,84	2,70
	%**	25,96	16,08	7,72	6,87	9,19	2,76	3,92	7,58	19,91	100,00
S	%*	0,67	0,81	1,04	1,16	1,33	1,14	1,17	0,67	0,56	0,82
	%**	22,86	16,78	9,89	9,19	13,94	3,47	4,99	5,90	12,99	100

Примечание: \*содержание; \*\*распределение.

тонких фракций.

Массовая доля меди по результатам гранулометрического анализа составляет 0,383%. Максимальное содержание меди зафиксировано в промежуточных тонких классах в интервале крупности  $-0,071+0,02$  мм и составляет 0,52–0,525%. В других классах крупности содержание меди колеблется в незначительных пределах: от 0,329% до 0,442%.

На диаграмме рис. 3 наглядно представлено распределение меди по классам крупности: отчетливо видно, что незначительная концентрация металла отмечается в тонких классах в интервале крупности  $-0,2+0$  мм. Причем, с понижением крупности материала в данном интервале концентрация меди возрастает. Таким образом, в классе крупности  $-0,2+0,1$  мм степень концентрации составляет 1,04 условных единиц [4]. В классе крупности  $-0,045+0,02$  мм этот показатель достигает 1,36 условных единиц. В шламовом классе степень концентрации меди приближается к единице – 1,03. Данные факты в комплексе косвенно указывают на то, что медьсодержащие минералы сосредоточены преимущественно в тонких

классах в интервале крупности  $-0,1+0,02$  мм.

Содержание золота в пробе руды составляет 0,082 г/т, в различных классах крупности этот показатель колеблется незначительно. Минимальное значение составляет 0,062 г/т и отмечается в классе крупности  $-0,5+0,315$  мм, максимальное значение 0,126 г/т зафиксировано в классе  $-0,315+0,2$  мм. Концентрирование благородного металла прослеживается в тонких классах, начиная с класса крупности  $-0,315+0,2$  мм. Промышленной ценности золото в рудной зоне Томинского месторождения не имеет, но может извлекаться попутно.

Содержание молибдена в пробе исходной руды находится на уровне 0,0057%, и в классах крупности колеблется незначительно – от 0,0042 до 0,0066%. Минимальное значение 0,0025% зафиксировано в классе крупности  $-1,0+0,5$  мм, а максимальный показатель находится в тонком классе и составляет 0,0078%. Концентрация молибдена отмечается преимущественно в шламовом классе. Молибден, аналогично золоту, является попутно извлекаемым компонентом.

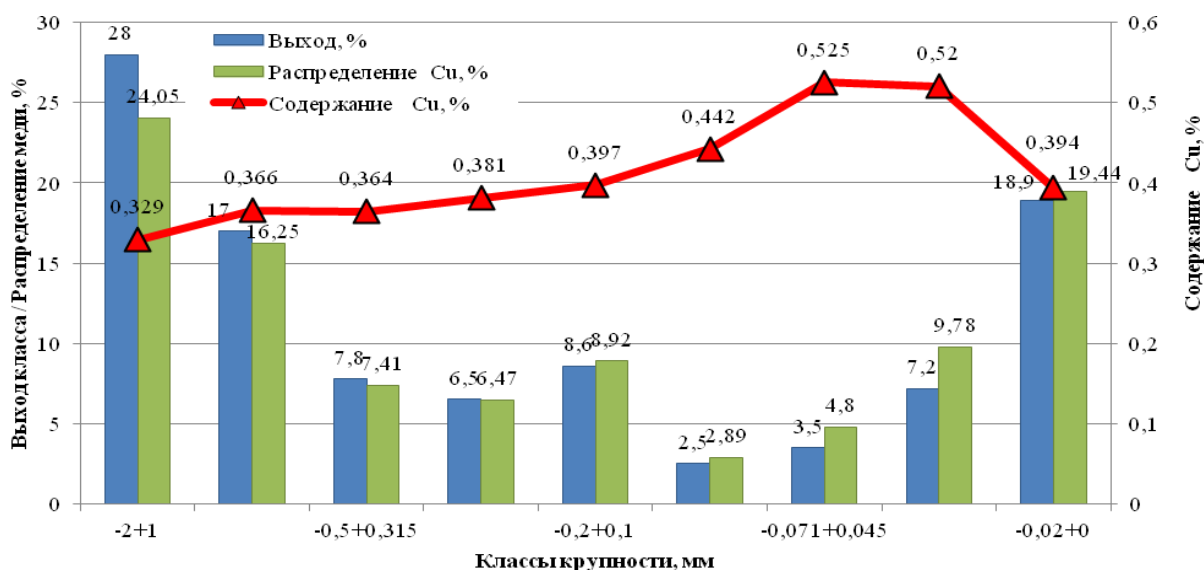


Рис. 3. Гранулометрическая характеристика пробы первичной руды при крупности дробления -2 мм с распределением меди по классам крупности

На долю железа в пробе первичной руды приходится 2,7%. Содержание металла в классах крупности колеблется от 2,5 до 3,02%. По классам крупности железо распределяется равномерно, пропорционально выходам фракций. Модальные пики по концентрации железа в том или ином классе отсутствуют.

Количество серы в исходной руде находится на уровне 0,82%. В интервале крупности  $-0,5+0,045$  мм массовая доля серы превышает средний показатель и составляет 1,04–1,33%. Минимальное значение зафиксировано в тонком классе – 0,56%. Распределение серы по классам крупности показало, что концентрация элемента проявляется в интервале крупности  $-0,5+0,045$  мм. Такой показатель косвенно указывает на то, что минералы, содержащие в своем составе серу (главным образом, сульфиды), сосредоточены в данном интервале крупности.

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

Из табл. 4 видно, что первичная руда Томинского месторождения сложена, главным образом, литофильными компонентами, основным из которых является кремнезем. Его доля составляет 61,5%. Количество глинозема в пробе находится на уровне 15,5%. На долю щелочных металлов приходится 3,3%, причем  $\text{Na}_2\text{O}$  в два раза преобладает над  $\text{K}_2\text{O}$ . Оксиды кальция и магния находятся в пробе в значительном количестве: 2,6 и 2,4% соответственно.

Массовая доля углерода в руде составляет 0,551%, и вся его масса представлена карбонатной формой. Органического углерода в пробе первичной руды не обнаружено.

**Таблица 4**  
**Химический состав пробы первичной руды**

Элемент, компонент	Массовая доля, %	Элемент	Массовая доля, %
$\text{SiO}_2$	61,5	Cr	0,01
$\text{Al}_2\text{O}_3$	15,5	Co	0,001
CaO	2,6	La	<0,001
$\text{K}_2\text{O}$	1,1	Li	0,001
MgO	2,4	Mo	0,003
$\text{Na}_2\text{O}$	2,2	Ni	0,002
$\text{P}_2\text{O}_5$	0,07	Pb	<0,002
$\text{TiO}_2$	0,47	Sb	<0,005
MnO	0,04	Sc	0,0021
$\text{C}_{\text{общ}}$	0,551	Sn	<0,005
$\text{CO}_2$ карб	2,04	Sr	0,019
$\text{Fe}_{\text{общ}}$	3,76	V	0,013
$\text{Fe}_{\text{окисл}}$	3,11	W	<0,005
$\text{Fe}_{(\text{S})}$	0,65	Y	0,0012
$\text{S}_{\text{общ}}$	0,82	Zn	0,004
$\text{S}_{\text{окисл}}$	0,003	Se	0,0004
Cu	0,365	Te	0,0005
As	<0,003	Re	0,0000036
Ba	0,017	Au, г/т	0,082
Be	<0,0005	Ag, г/т	<0,2
Cd	<0,001		

Рудообразующие элементы представлены железом, медью и серой. Количество молибдена по данным ICP анализа в пробе первичной руды составляет 0,003%. Другие металлы, а также сурьма и мышьяк находятся в пробе в количестве тысячных долей процента и не вызовут осложнений при дальнейшей переработке руды.

Массовая доля железа составляет 3,76%. Основная его часть ( $\approx 83\%$ ) находится в окисленной форме. На долю сульфидного железа приходится не более 0,65% от общей массы руды. Количество серы в руде – 0,82%, при этом серы окисленной – не более 0,003%.

С целью установления фаз меди – главного ценного компонента – выполнен фазовый анализ [11], представленный в табл. 5.

**Таблица 5**  
**Фазовый анализ меди в пробе**  
**первичной руды**

Фазовый состав		Содержание, %	Доля, %
Медь окисленная (оксиды, силикаты, карбонаты, сульфаты)	В «свободных» окисленных минералах	0,008	2,2
	В «связанных» окисленных минералах	0,004	1,1
	Итого	0,012	3,3
Медь сульфидная	В первичных сульфидах	0,334	91,5
	Во вторичных сульфидах	0,019	5,2
	Итого	0,353	96,7
Медь общая		0,365	100,0

Из табл. 5 видно, что медь присутствует в четырех разных фазах. Преобладающая масса меди находится в сульфидной форме – 96,7% от общей массы меди. Сульфидная медь в свою очередь подразделяется на первичные сульфиды (91,5% меди) и вторичные сульфиды меди (5,2%). На долю окисленной меди в первичной руде приходится 0,012%, что в относительных величинах составляет 3,3%. Окисленная медь, в свою очередь, делится на «свободную» медь (2,2%) – карбонаты меди и «связанную» медь (1,1%).

**Выводы.** Первичная сульфидная руда Томинского месторождения представляет собой убого сульфидный медно-порфиновый тип со степенью окисления 3,3%, рассчитанной по меди.

Минеральный состав руды на 94,5% представлен породообразующими минералами. На долю аксессуариев приходится 0,5% от общей массы минералов. Рудные минералы представлены сульфидами и гидроксидами железа и в сумме составляют 3,3%. Основная масса сульфидов представлена халькопиритом (1,0%) и пиритом (0,7%). Халькозин, борнит, ковеллин, а также сфалерит и молибденит находятся в количестве единичных знаков. В руде отмечаются единичные зерна карбонатов меди – малахита и азурита.

Основным минералом – носителем меди является халькопирит, который в первичной руде отмечается в двух генерациях. Халькопирит-1 представлен катаклазированными аллотриоморфными зернами. Халькопирит-2 – это включения в бластозернах пирита и отдельные аллотриоморфные зерна. По халькопириту развиваются вторичные сульфиды, представленные халькозином и борнитом. Редко отмечается замещение халькопирита ковеллином и окисленными минералами меди. Химический состав халькопирита по содержанию основных элементов соответствует стандартному.

Ситовой анализ исходной руды крупностью -2 мм показал, что основная масса меди сосредоточена в промежуточных тонких классах в интервале крупности 0,071–0,02 мм. В них содержание меди достигает 0,525%. В других классах содержание металла колеблется в незначительных пределах – от 0,329 до 0,442%. Среднее содержание ценного компонента по данным ситового анализа составляет 0,383%. Концентрация меди прослеживается в классе крупности -0,045+0,02 мм. В нем степень концентрации достигает 1,36 условных единиц. В других классах концентрации металла не отмечается. Данные факты в комплексе косвенно указывают на то, что медьсодержащие минералы сосредоточены преимущественно в тонких классах в интервале крупности -0,1+0,02 мм.

Основные компоненты, составляющие пробу руды, представлены кремнеземом, глиноземом и оксидами кальция, магния, натрия и калия. Их доля от общей массы пробы в сумме составляет 83,3%. Элементы рудных минералов представлены, главным образом, железом, медью и серой. Количество молибдена в пробе первичной руды находится на уровне 0,003%. Массовая доля железа составляет 3,76%. Основная его часть находится в окисленной форме. Количество серы 0,82%, и вся она ассоциирует с сульфидами.

Массовая доля цветных металлов, за исключением меди, а также вредных примесей, таких как мышьяк и сурьма, не превышает тысячных долей процента и не оказывает влияния при дальнейшей переработке руды.

Ценным компонентом в руде Томинского месторождения является медь. Ее содержание в пробе первичной руды составляет 0,365%. Основная масса меди (96,7%) находится в сульфидной форме, которая, в свою очередь, распределяется на первичные и вторичные сульфиды меди. На долю окисленной меди в первичной руде приходится 0,012%.

#### Библиографический список

1. Бетехтин А.Г. Курс минералогии. М.: Госгеолтехиздат, 1951. 542 с.
2. Васильева А.В., Лодейщиков В.В. Методические рекомендации по типизации руд, технологическому опробованию и картированию коренных месторождений золота. Иркутск, 1997. 163 с.
3. Вахромеев С.А. Руководство по минераграфии. Иркутск, 1956. 264 с.
4. Изоитко В.М. Технологическая минералогия и оценка руд. СПб.: Наука, 1997. 582 с.
5. Курчевская Е.М., Яхно М.В., Сенченко А.Е. Минералого-технологические типы руд Томинского месторождения меди (Южный Урал) // Известия СО секции наук о Земле РАЕН. Геология, поиски и разведка рудных месторождений. 2014. № 3 (46). С. 42–47.
6. Леонов С.Б., Белькова И.О. Исследование полезных ископаемых на обогатимость: учеб. пособие. М.: Интермет Инжиниринг, 2001. 631 с.
7. Ли А.Ф. Минералогическое исследование руд цветных и редких металлов. М.: Госгеолтехиздат, 1960. 220 с.
8. Петровская Н.В. Самородное золото (общая характеристика, типоморфизм, вопросы генезиса). М.: Наука, 1973. 347 с.
9. Рамдор П. Рудные минералы и их сростания. М.: ИИЛ, 1962. 1132 с.
10. Талдыкин С.И., Гончарик Н.Ф., Еникеева Г.Н., Розина Б.Б. Атлас структур и текстур руд. М.: Госгеолтехиздат, 1954. 267 с.
11. Филиппова Н.А. Фазовый анализ руд и продуктов их переработки. М.: Химия, 1975. 280 с.

Рецензент кандидат геолого-минералогических наук,  
профессор Иркутского государственного технического университета Г.Д. Мальцева