



ИССЛЕДОВАНИЕ ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА БАЛАНСОВЫХ И ЗАБАЛАНСОВЫХ МЕДНО- ПОРФИРОВЫХ РУД МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЁШЛИК I

Нурмухамедов И.С.

(начальник лаборатории ГУ «Институт минеральных ресурсов»,
100100, г. Ташкент, ул. Олимлар 64а).

Самадов А.У.

(д.т.н., профессор, директор Алмалыкского филиала ТашГТУ,
110100, город Алмалык, Ташкентская область, улица Мирзо
Улугбека 45).

Хамидуллаев Б.Н.

(д.ф.т.н., начальник отдела ГУ «Институт минеральных ресурсов»,
100100, г. Ташкент, ул. Олимлар 64а).

Бадалов Ф.А.

(д.ф.т.н., начальник лаборатории ГУ «Институт минеральных
ресурсов», 100100, г. Ташкент, ул. Олимлар 64а).

Сайитов С.С.

(д.ф.г.-м.н., с.н.с., начальник отдела ГУ «Институт минеральных
ресурсов», 100100, г. Ташкент, ул. Олимлар 64а).

<https://doi.org/10.5281/zenodo.8207185>

Аннотация

В статье рассмотрены особенности вещественного состава балансовых и забалансовых руд месторождения Ёшлик I. Согласно результатам рационального анализа на золото и серебра, содержание цианируемого свободного золота составляет 63,08% и серебра 46,29%; с минералами и химическими соединениями сурьмы и мышьяка связано 14,77% серебра; с карбонатами и гидроксидами железа и марганца связано 13,85% золота и 17,2% серебра; с сульфидами (пирит, арсенопирит) связано 12,31% золота и 15,23% серебра; 10,77% золота и 6,52% серебра находятся в тонковкрапленном виде в кварце, алюмосиликатах и других кислотонерастворимых минералах. Результаты фазового анализа пробы руд показали, что медь на 4,95% представлена свободными окисленными минералами; на 1,26% – связанным окисленными минералами; на 1,84% - вторичными сульфидами и на 91,95% - первичными сульфидами. Содержание рудных минералов составляет от 2-12%. Текстура руд вкрапленная, прожилковая, гнездовая, скопления, редко замещение. Мощность прожилков составляет до 1-2 мм. Структура рудных минералов мелкозернистая, среднезернистая, реже аллотриоморфнозернистая, неравномернозернистая. Рудные минералы отмечаются в виде отдельных вкраплений, мономинеральных скоплений, тесно срастающихся агрегатов.

Annotation

The article discusses the features of the material composition of the balance and off-balance ores of the Yoshlik I deposit. According to the results of a rational analysis for gold and silver, the content of cyanidable free gold is 63.08% and silver 46.29%; 14.77% of silver is associated with minerals and chemical compounds of antimony and arsenic; 13.85% gold and 17.2% silver are associated with carbonates and hydroxides of iron and manganese; sulfides (pyrite, arsenopyrite) are associated with 12.31% gold and 15.23% silver; 10.77% gold and 6.52% silver are finely disseminated in quartz, aluminosilicates and other acid-insoluble

minerals. The results of the phase analysis of the ore sample showed that copper is 4.95% represented by free oxidized minerals; 1.26% - bound by oxidized minerals; 1.84% - secondary sulfides and 91.95% - primary sulfides. The content of ore minerals ranges from 2-12%. The texture of the ores is disseminated, veinlet, nested, clusters, rarely replacement. The thickness of the veins is up to 1-2 mm. The structure of ore minerals is fine-grained, medium-grained, less often allotriomorphic-grained, uneven-grained. Ore minerals are noted in the form of separate inclusions, monomineral accumulations, closely intergrown aggregates.

Ключевые слова: вещественный состав, медь, золото, серебро, рудные и нерудные минералы, распределение, пирит, арсенопирит.

Key words: material composition, copper, gold, silver, ore and non-ore minerals, distribution, pyrite, arsenopyrite.

По оценкам международных экспертов, ожидается, что к 2030 году мировой спрос на медь вырастет на 40% в силу роста производства электромобилей, электротехники и освоения возобновляемых источников энергии.

За последние 5 лет объем производства меди в Узбекистане увеличился почти в 1,5 раза и в 2022 году достиг 148,5 тысяч тонн. В частности, около 60 процентов меди экспортируется в виде сырья. Если в 2017 году произведено 109 885 тонн меди, то в настоящее время завод производит 148,5 тыс. тонн меди. После освоения месторождения Ёшлик I к 2029 году планируемая производительность предприятия по катодной меди составит 400 тысяч тонн. Доходы медной промышленности Узбекистана в настоящее время составляют \$2,5 млрд., а при достижении производства меди до 400 000 тонн к 2029 году, эта цифра может достичь \$7-8 млрд. [1].

Мировые аналитики полагают, что на фоне увеличения спроса и дефицита предложения, а также с учетом фундаментальных условий и истощенных запасов, цены на медь способна подняться до \$13 тыс. за тонну, а в ближайшие годы и к 2025 году могут достичь \$20 тыс. за тонну. Спрос на медь растет, так как она требуется секторам промышленности, которые бурно развиваются, в том числе производство полупроводников и аккумуляторов для электромобилей. Также, спрос на медь поддерживается инвестициями в электрификацию, поскольку в мире все шире внедряется стратегия по сокращению выбросов [2].

В связи с этим проведение научно-исследовательских работ по изучению медных руд новых месторождений и участков представляет высокий интерес.

Одним из высокоперспективных месторождений меди является Ёшлик I. Нами проведены исследования по изучению вещественного состава медно-порфировых руд месторождения Ёшлик I. При изучении вещественного состава пробы руды применялись методы спектрального, химического, пробирного, гранулометрического, фазового, рационального на золото и серебро, минералогического и др. видов анализов.

Полуколичественный спектральный анализ проб выполнялся в Центре АИ ВСМС ГУ «ИМР» на дифракционном спектрографе со скрещенной дисперсией СТЭ-1. Результаты спектрального анализа методом просыпки приведены в табл.1.1.

Таблица 1.1

Результаты полуколичественного спектрального анализа
средних проб руды

Название элементов	Содержание в пробе, $n \cdot 10^{-3} \%$	Название элементов	Содержание в пробе, $n \cdot 10^{-3} \%$
Ba	<2	Ni	<0,6
Be	<0,05	Sn	<0,6
V	15	Pb	15
Bi	<0,2	Ag	0,01
W	<0,3	Sb	50
Ga	<0,5	Ti	50
Ge	0,5	Cr	<1
Cd	<0,1	Zn	7
Co	0,5	Au	<0,03
Mn	30	Nb	1,5
Cu	>1,1%	Ta	<10
Mo	<0,1	Li	<3
As	<2		

Результаты полного химического анализа исследуемых проб руды, выполненного в Центре АИ ВСМС ГУ ИМР приведены в табл.1.2.



Таблица 1.2

Результаты полного химического анализа средних проб руды

Название компонентов	Содержание, %	Название компонентов	Содержание, %
SiO ₂	60,41	S _{общ.}	1,94
Fe _{общ.}	6,45	S _{сульфид.}	1,92
TiO ₂	0,43	SO ₃	0,04
MnO	0,06	P ₂ O ₅	0,23
Al ₂ O ₃	15,14	Au, у.е.	0,23
CaO	2,57	Ag, у.е.	1,235
MgO	1,99	Cu	0,229
K ₂ O	4,24	Mo	0,0062
Na ₂ O	1,44	п.п.п.	6,81

Как видно из приведенных данных в табл.1.2, проба руды преимущественно состоит из кремнезема (60,41%), глинозема (15,14%) и оксидов железа (6,45%).

Результаты пробирного анализа исследуемых проб руд, выполненные в пробирной лаборатории Центральной лаборатории АО «Узбекгеология кидирув» приведены в табл.1.3.

Таблица 1.3

Результаты пробирного анализа средних проб руды

Наименование пробы	Содержание, у.е.	
	Au	Ag
«Ёшлик I» балансовая	0,4	<5

По результатам пробирного анализа содержание золота в пробе балансовой руды месторождения Ёшлик I составляет 0,4 у.е. и серебра <5 у.е..

Опико-эмиссионный спектральный анализ средней пробы руды выполнялся в Центре АИ ВСМС ГУ «ИМП» на атомно-эмиссионном спектрометре с индуктивно связанной плазмой ICPE-9000 (Shimadzu Corporation). Результаты анализов приведены в табл.1.4.

Таблица 1.4

Результаты опико-эмиссионного спектрального анализа средних проб руды

Элементы	Содержание, г/т	Элементы	Содержание, г/т	Элементы	Содержание, г/т
Ag*	0,922	Gd	1,42	Hf**	1,04
Al	84249	K	42400	Se	2,79
As	6,33	La	23,3	Sm	2,86
Au*	0.415	Li	20,2	Sr	367
Ba	530	Lu	0,262	Tb	2,29

Элементы	Содержание, г/т	Элементы	Содержание, г/т	Элементы	Содержание, г/т
Be	2,04	Mg	12636	Te	0,123
Bi**	2,01	Mn	402	Th	12,4
Ca	20988	Mo	68,7	Ti	1920
Cd	0,26	Na	11782,94	Tl**	0,793
Ce	51,6	Nb	11,7	Tm	0,286
Co	9,72	Nd	15,7	U	2,49
Cr	15	Ni	<0,1	V	85,4
Cu	4280	P	919	W	<0,5
Dy	<0,1	Pb	8,38	Y	13,7
Er	1,06	Pr	<0,1	Yb	1,31
Eu	0,661	Rb	149	Zn	81,2
Fe	37260	S	18300	Zr***	54,3
Ga	17,4	Sc	8,47	ΣREE	120,75

Примечание.

*-навеска не представительна;

**-недостаточная чувствительность;

***-необходимо отдельное разложение (сплавление с метаборатом лития).

Согласно результатам оптико-эмиссионного спектрального анализа исходной руды, содержание попутных элементов составило: Se-2,79 г/т, Te-0,12 г/т, Ga-17,4 г/т и сумма РЗЭ – 120,75 г/т.

Формы нахождения благородных металлов в пробах руды изучались с помощью рационального анализа, который проводился по стандартной методике, основанной на последовательном выщелачивании измельченной руды (крупность 85% кл. - 0,074+0мм) цианистым раствором после предварительного освобождения золота и серебра от ассоциации с другими рудными и породобразующими компонентами.

В схему анализа были включены следующие операции: цианирование руды, щелочная обработка хвостов I цианирования с последующим очередным цианированием, солянокислотная обработка хвостов II цианирования и затем III цианирование, азотнокислотная обработка хвостов III цианирования с последующим цианированием нерастворимого остатка.

Результаты рационального анализа проб руд приведены в табл.1.5.

Таблица 1.6

Результаты рационального анализа проб руд и шихты на золото и серебро

Форма нахождения золота, серебра и характер их связи с рудными компонентами	Распределение металлов			
	Au		Ag	
	у.е.	%	у.е.	%
Золото и серебро самородное, в сростках с другими минералами: хлориды, сульфаты, простые сульфиды серебра (цианируемые)	0,31	75,61	0,61	58,65

Золото и серебро, связанные с минералами и химическими соединениями сурьмы и мышьяка (кроме арсенопирита и соединений пентавалентной сурьмы; сульфосоли серебра, пираргирит, прустит и др.), (цианируемые после NaOH – обработки)	0	0	0,22	21,15
Золото и серебро, связанные с кислоторастворимыми минералами, оксидами, гидрооксидами и карбонатами железа и марганца (цианируемые после HCl – обработки)	0,01	2,44	0,01	0,96
Золото и серебро тонковкрапленные в сульфидах (пирите и арсенопирите) (цианируемые после HNO ₃ – обработки)	0,03	7,32	0,12	11,54
Золото и серебро в кварце, алюмосиликатах и др. кислотонерастворимых минералах	0,060	14,63	0,080	7,69
Итого:	0,41	100	1,04	100

Как видно из приведенных данных в табл.1.5, содержание цианируемого свободного золота в пробе составляет 75,61% и серебра 58,65%; с минералами и химическими соединениями сурьмы и мышьяка отсутствует; с карбонатами и гидрооксидами железа и марганца связано 2,44% золота и 0,96% серебра; с сульфидами (пирит, арсенопирит) связано 7,32% золота и 11,54% серебра; 14,63% золота и 7,69% серебра находятся в тонковкрапленном виде в кварце, алюмосиликатах и других кислотонерастворимых минералах.

Форма нахождения меди в пробах руды изучалась с помощью фазового анализа руды. Фазовый анализ руды на медь выполнялся в Центре АИ ВСМС ГУ «ИМР» согласно методике М00193950.38-037:2017 «Методика на выполнение измерений массовой доли соединений меди фазовым анализом в рудах и продуктах их переработки атомно-абсорбционным методом, разработанной Центральной аналитической лабораторией АО «Алмалыкский ГМК». Результаты фазового анализа приведены в табл.1.6.

Таблица 1.6

Результаты фазового анализа пробы руды на медь

Форма нахождения меди	Массовая доля меди, %	
	Абсолютная	Относительная
Свободные окисленные минералы (куприт)	0,01204	2,65
Связанные окисленные минералы	0,00043	0,1
Вторичные сульфиды (халькозин, ковеллин)	0,00365	0,81
Первичные сульфиды (халькопирит)	0,43639	96,44
Всего:	0,45251	100

Согласно результатам фазового анализа установлено, что медь на 2,65% представлена свободными окисленными минералами; на 0,1% – связанным

окисленными минералами; на 0,81% - вторичными сульфидами и на 96,44% - первичными сульфидами.

Таблица 1.7

Результаты ситового анализа пробы руды

Класс крупности, мм	Выход, %	Содержание				Распределение, %			
		Au, у.е.	Ag, у.е.	Cu, %	Mo, %	Au	Ag	Cu	Mo
-3,0+2,5	29,6	0,32	0,74	0,41	0,0042	23,11	19,54	27,88	19,75
-2,5+1,4	8,9	0,41	1,18	0,38	0,00804	8,93	9,40	7,80	11,41
-1,4+1,0	14,5	0,36	1,10	0,41	0,0075	12,76	14,25	13,68	17,31
-1,0+0,5	16,1	0,39	1,11	0,37	0,00786	15,35	15,98	13,72	20,15
-0,5+0,315	7,3	0,42	1,08	0,34	0,00798	7,49	7,04	5,71	9,27
-0,315+0,18	7,9	0,48	1,30	0,39	0,00516	9,27	9,18	7,09	6,49
-0,18+0,08	6,4	0,59	1,80	0,71	0,00344	9,22	10,29	10,45	3,50
-0,08+0,044	2,0	0,74	1,62	0,76	0,00914	3,54	2,84	3,43	2,85
-0,044+0	7,3	0,58	1,76	0,61	0,00798	10,34	11,47	10,24	9,27
Руда	100	0,41	1,12	0,43	0,0063	100	100	100	100

Как следует из табл.1.7, содержание ценных металлов в изучаемой пробе руды повышается в мелких классах крупности.

Для изучения минерального состава поступила проба балансовых руд месторождений Ёшлик. Были изготовлены прозрачные шлифы и полированные аншлифы из каменного материала и изучены под микроскопом в проходящем и отраженном светах. Для изучения формы нахождения ценных компонентов была проведена сканирующая электронная микроскопия.

В результате просмотра прозрачных шлифов, изготовленных с предоставленных проб, отобранных с балансовых руд месторождения Ёшлик установлены следующие типы пород: кварцевый монцодиорит, кварцевый сиенит-порфир. Породы имеют разную степень метасоматического изменения.

Кварцевый монцодиорит. Структура гипидиоморфнозернистая, гранитная (рис. 1). Текстура массивная.

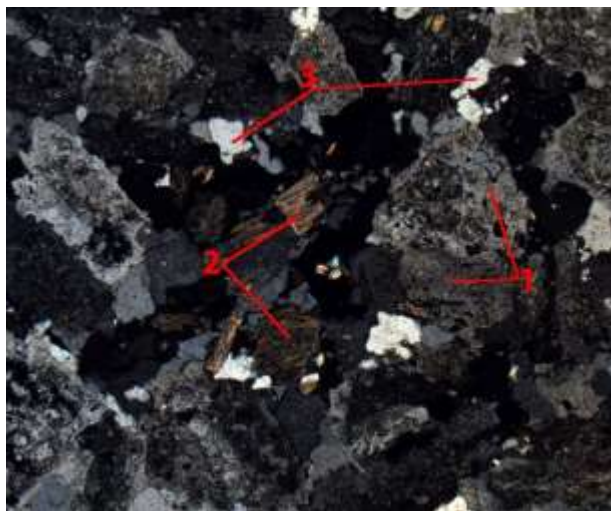
Главные породообразующие минералы: кварц (10-20%); полевые шпаты (плагиоклаз – 35-40%; калиевый полевой шпат – 20-30%); биотит (1-5%); амфибол до 1-2%); вторичные минералы (серицит, глинозем, карбонат, хлорит) и рудная минерализация.

Кварц в виде ксеноморфных зерен, скоплений выполняет межзерновое пространство. Размер зерен от 0,0п-0,1мм до 0,4-0,6 мм.

Плагиоклаз образует зерна удлиненно-призматической, таблитчатой формы (рис. 2). Кристаллы плагиоклаза идиоморфнее зерен кварца и калиевого полевого шпата. Размер зерен варьирует от 0,1 до 1,5мм. Минерал частично серицитизирован, пелитизирован, соссюритизирован, редко карбонатизирован.

Калиевый полевой шпат представлен ксеноморфными зернами. Минерал частично или полностью пелитизирован. Размер зерен варьирует от 0,1-0,5 мм, и до 1 мм.

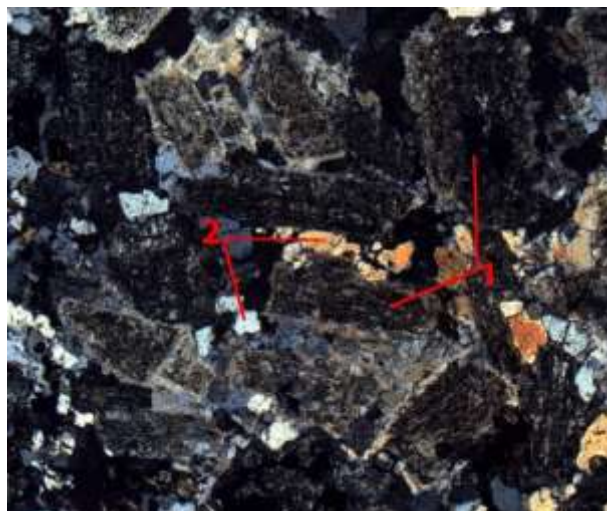
ГИПИДИОМОРФНОЗЕРНИСТАЯ СТРУКТУРА



Шлиф № Ёб-4; увел. 40х; ник Х. 1- калиевый полевой шпат; 2-биотит; 3- кварц.

Рис. 1.

УДЛИНЕННО-ПРИЗМАТИЧЕСКИЕ КРИСТАЛЛЫ ПЛАГИОКЛАЗА КВАРЦЕВОМ МОНЦОДИОРИТЕ



Шлиф № Ёб-14; увел. 40х; ник Х. 1- плагиоклаз; 2-кварц.

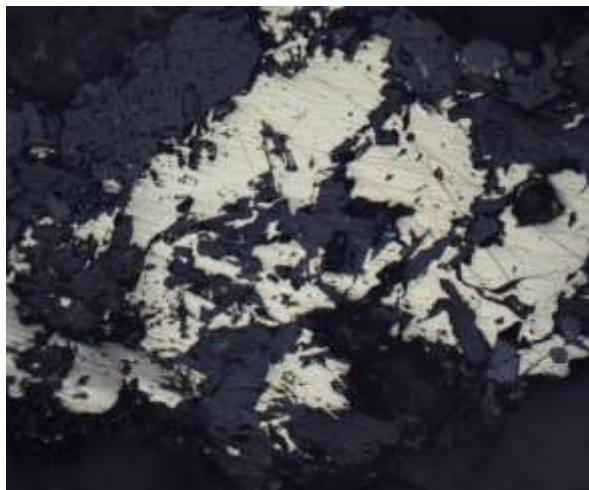
Рис. 2.

Содержание рудных минералов в изученных аншлифах составляет около 3% от общей массы. Текстура руд вкрапленная, прожилковая, гнездовая, скопления. Структура рудных минералов тонкозернистая, мелкозернистая, чаще среднезернистая, неравномернозернистая. Рудные минералы отмечаются в виде отдельных вкраплений, скоплений, тесно срастающихся агрегатов (рис. 3, 4).

По составу изученные пробы первичные, т.е. рудная минерализация представлена в основном сульфидами. В двух аншлифах, из описанных 15, установлены повышенные содержания гидрооксидов железа. В составе руд преобладает пирит, халькопирит, в подчиненном количестве отмечаются магнетит. В редких или единственных зернах отмечаются молибденит, галенит, сфалерит, борнит, ковеллин, халькозин, куприт, гематит, ильменит, рутил.

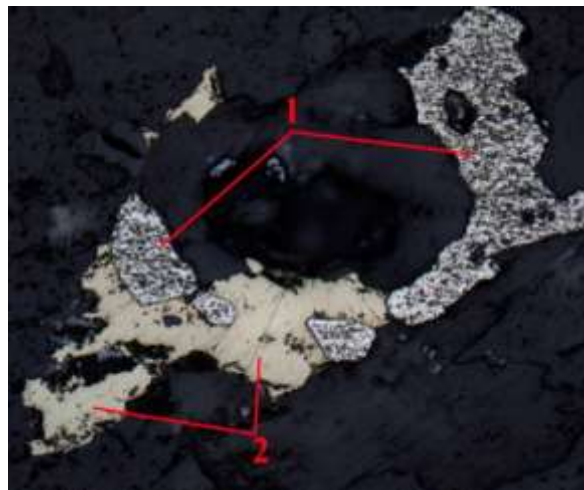
СКОПЛЕНИЯ ХАЛЬКОПИРИТА

СРОСТОК ПИРИТА С ХАЛЬКОПИРИТОМ



Аншлиф Ёб-8. Увел. 100х.

Рис. 2.31



Аншлиф Ёб-13. Увел. 200х. 1-пирит, 2-халькопирит

Рис. 4.

По составу изученные пробы первичные, т.е. рудная минерализация представлена в основном сульфидами. В двух аншлифах, установлены повышенные содержания гидрооксидов железа. В составе руд преобладает пирит, халькопирит, в подчиненном количестве отмечаются магнетит. В редких или единственных зернах отмечаются молибденит, галенит, сфалерит, борнит, ковеллин, халькозин, куприт, гематит, ильменит, рутил.

Пирит отмечается во всех аншлифах в количестве от единичных зерен до 3-5 %. Размеры зерен варьируют от <0,01 мм до 5,0 мм. Зерна ксеноморфные, кубические, фрагменты куба, пентагондодекаэдрические, иногда трещиноватые. Встречается в виде вкраплений в нерудной массе и, сростков с халькопиритом (чаще), реже сфалеритом, галенитом, магнетитом, а также в виде гнездовых и сгустковых скоплений.

Халькопирит является основным ценным рудным минералом в изученных аншлифах. Установлен во всех аншлифах в виде отдельных вкраплений в нерудной массе, скоплений, в агрегативных сростках с пиритом, сфалеритом, галенитом, борнитом. Форма зерен ксеноморфная, края неровные. Размер зерен <0,01-1,2 мм, количество достигает до 2-3%. Замещается ковеллином, халькозином. Установлены в виде тонких включений в пирите, магнетите. Развивается по трещинам, межзерновым пространством, краям зерен пирита. Содержит включения галенита.

Борнит установлен в 2 аншлифах из 15 в количестве единичных знаков. Размер зерен <0,01-0,03 мм. Отмечен в виде ксеноморфных зерен в сростках с халькопиритом и магнетитом. Встречаются тонкие включения в пирите. Ассоциируется с халькопиритом, магнетитом, пиритом.

Халькозин отмечен в 2-х аншлифах от единичных зерен до 2-3%. Размер зерен до 0,2 мм. Халькозин развивается по халькопириту в межзерновых промежутках и трещинах пирита в виде каемчатых выделений.

Ковеллин отмечен в единичном аншлифе из описанных 15. Развивается по халькопириту в виде ксеноморфных выделений. Замещается купритом. Форма зерен ксеноморфная. Размеры составляет <0,01 мм. Ёб-6 в тесных срастаниях с халькопиритом в количестве единичных знаков. Размер зерен 0,0n мм.

Куприт отмечен в единичных зернах в ассоциации с халькопиритом и ковеллином. Развивает по ковеллину в виде ксеноморфных зерен.

Молибденит является одним из ценных минералов в составе руд. Отмечен в количестве до 1-2%. Размер зерен варьирует от 0,01 до 1,2 мм. Связан с зонами окварцевания. Установлен в нерудной массе в виде вкраплений, скоплений ксеноморфных, призматических, удлиненных, угловатых зерен.

Магнетит установлен в 7 аншлифах из 15 в виде единичных вкраплений и в сростках с другими минералами. Размер зерен варьирует от 0,01 до 0,1 мм, в количестве от единичных знаков до 1%. Зерна магнетита изометричные, ксеноморфные. Замещается гематитом по краям зерен. По трещинам и межзерновым пространствам отмечаются пирит, халькопирит. Содержит включения халькопирита.

Сфалерит установлен в сростке с халькопиритом в единичных зернах. Размер зерен <0,01 мм, в количестве единичных знаков. Форма зерен ксеноморфные выделения.

Галенит установлен в виде вкраплений в халькопирите и единичных вкраплений в нерудной массе. Размер зерен <0,01 мм, в количестве единичных знаков. Форма зерен ксеноморфные выделения. Ассоциируется с халькопиритом.

Гидроксиды железа отмечены в 3 аншлифах из 15 в количестве 2-4% в нерудной массе. Размер зерен варьирует от <0,01 до 1,0 мм. Встречаются в виде вкрапленности, прожилки по трещинам пород. Часто наблюдаются скопления. Отмечаются тонкие реликты пирита в гидроксидах железа, а также гидроксиды железа замещают пирит в виде каемчатых выделений.

Таким образом, полученные результаты изучения вещественного состава проб медно-порфировых руд месторождения Ёшлик I будут являться основой при процессе освоения месторождения Ёшлик I, способствовать выбору технологической схемы обогащения балансовых и забалансовых руд, определение и обоснование применяемых флотационных реагентов исходя из минерального состава и в целом будут играть большую роль при решении проблем, которые могут возникнуть в технологических процессах переработки.

Список использованной литературы:

1. Интернет ресурс. Review.uz (<https://review.uz/post/doxod-ot-mednoy-promshlennosti-v-uzbekistane-prevsil-2,5-mlrd>).
2. Интернет ресурс. BCS Express (<https://bcs-express.ru/novosti-i-analitika/med-etopovaia-neft-analitiki-zhdut-vzleta-tsen-na-krasnyi-metall>).
3. Зеленов В.И. Методика исследования золотосодержащих руд. М., Недра, 1978, 301с.
4. Абрамов А.А. Переработка, обогащение и комплексное использование твердых полезных ископаемых. Том II. Технология обогащения полезных ископаемых. М., 2004.
5. Алгебраистова Н. К. Технология обогащения руд цветных металлов. Электронный учебно-методический комплекс. ИПК «Сибирский федеральный университет» (СФУ), 2009.
6. Абрамов, А. А. Технология переработки обогащения руд цветных металлов. Учебное пособие для вузов: в 2 кн. Кн. 1: Рудоподготовка и Cu, Cu-Py, Cu-Fe, Mo, Cu-Mo, Cu-Zn руды. М.: Изд-во МГГУ, 2005.

7. Цыпин,

Е. Ф.

Предварительная концентрация руд. Учебное пособие. Екатеринбургский горный институт, 1991.