

ВАРИАТИВНОСТЬ МИНЕРАЛЬНОГО СОСТАВА РУД ОЛИМПИАДИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Стародубцева А.А., Савушкина С.И., Снежко В.А., Рукосуев А.В., Озерский М.А.

ПАО «Полюс Красноярск», г. Красноярск, Россия

SavushkinaSI@polyus.com

Введение

Одной из главных задач действующего производства является улучшение экономических показателей предприятия в условиях вовлечения в переработку первичных руд глубоких горизонтов Олимпиадинского месторождения, характеризующихся сложностью вещественного состава и вариативностью основных критериев технологических свойств руд.

Олимпиадинское месторождение, расположенное в пределах Верхне-Енашиминского рудного узла Енисейского Кряжа, представлено четырьмя рудными телами, характеризующимися вариативностью минерального состава при среднем содержании золота около 4 г/т. Западный участок месторождения представлен тремя рудными телами, участок Восточный - наиболее продуктивным по запасам рудным телом.

На ранних стадиях эксплуатации на месторождении выделены 2 природных технологических типа руды: окисленная, выработанная к настоящему времени, и первичная сульфидная, составляющая 90% запасов месторождения, вскрытого карьером на глубину до 700м.

Высокая степень изменчивости минерального состава первичных руд Олимпиадинского месторождения, влияющая на качество перерабатываемого сырья и его технологические свойства, диктует необходимость оперативного

контроля содержаний минералов и их соотношений, как одного из основных технологически значимых параметров и показателей для процесса управления качеством руды. Сложный и изменчивый вещественный состав первичных руд Олимпиадинского месторождения требует информационно-аналитической системы поддержки принятия решений по управлению качеством руд.

Материалы и методы исследований

Исследования минерального состава исходной руды, как одного из основных технологически значимых параметров, осуществляются на базе количественного рентгенофазового анализа (далее КРФА), внедренного в практику работ АО «Полюс Красноярск».

Количественное определение содержаний минералов посредством метода XRD выполняется на базе дифрактометра D2 PHASER (Bruker) при излучении $\text{CoK}\alpha$, монохроматор, шаг 0,01 по 2θ , с использованием базовых программ обработки рентнограмм EVA, TOPAS и ИПС, рентгенофазовых стандартов минералов PDF2 (15819 стандартов) для идентификации фаз, и бесстандартного КРФА по мультирефлексионному методу «корундовых чисел» [1,2].

Рентгенофазовый контроль минерального состава золотосодержащих сульфидных руд осуществляется с синхронизацией данных КРФА и химиче-

Таблица 1 – Вариативность минерального состава пород Олимпиадинского месторождения, уч. Восточный

№ п/п	Группа пород	Сод. Au, г/т	Содержания, масс. % (округленные значения)										Итого			
			Нерудные минералы					Сульфиды								
			Кварц	Карбонаты	Слюды	Хлорит	Акцессории*	Альбит	Углеродистое вещество	Арсенопирит	Пирит	Пирротин		Минералы Sb	Сумма сульфидов	Сумма нерудных
Преимущественно кварцевые переменного состава																
	Полевошпат-слюдисто-кварцевые (кварцитовидные)**	<0,2	33-38	0,4-1	22-25	5-7	2-4	21-28	0,1	<0,1	0	0,3-0,4	0	0,3-0,4	99,5	100
	Слюдисто-кварцевые углеродистые**	<0,2	34-50	3-11	25-31	5-2	2-3	6-16	1-3	<0,1	1	2-6	0	3-7	93-96	100
	Карбонатно-слюдисто-кварцевые высокоуглеродистые**	<0,2	29-30	21-24	21-24	1-2	1-2	9-10	6	<0,1	1-4	2-3	0	4-6	94-96	100
Преимущественно слюдяные переменного состава																
	Кварцево-слюдяные**	<0,2	33-39	1-3	24-49	2-7	2-5	5-14	0-2	<0,1	0-0,7	0,2-4	0	0,2-5	95-100	100
	Преимущественно слюдяные	<0,2	28	13	34	2	2	10	3	<0,1	1	7	0	8	92	100
Преимущественно карбонатные																
	Преимущественно карбонатные	<0,2	29-31	35-62	7-19	1-2	0-1	1-3	4-5	<0,1	1-3	1	0	1-4	96-98	100
	Δ	<0,2	28-50	1-62	7-49	1-7	0-5	1-28	0,1-6	<0,1	0-4	0,2-6	0	0,3-8	93-100	100

* Примечание: минералы титана, гранаты, пироксены.

** в единичных пробах метасоматитов встречаются гипс ($\leq 2\%$) и гематит ($\leq 0,5\%$)

Таблица 2 – Вариативность минерального состава пород Олимпиадинского месторождения, уч. Западный

№ п/п	Группа пород	Содержания, масс. % (округленные значения)										Сумма нерудных	Итого			
		Сод. Au, г/т	Нерудные минералы					Сульфиды						Сумма сульфидов		
			Кварц	Карбонаты	Слюды	Хлорит	Акцессории*	Альбит	Углеродистое вещество	Арсенопирит	Пирит				Пирротин	Минералы Sb
1. Преимущественно кварцевые переменного состава																
1.1	Высоко-кварцевые	<0,2 - 7	42-69	7-20	8 - 20	0-4	0-6	3-9	0-1	0-1	0-1	0-6	0,1 - 0,3	1-9	91-99	100
1.2	Слюдисто-кварцевые	0,2 - 7	32-57	0-13	21-33	0-21	0-12	2-18	0-2	0-2	0-1	0-5	0,1 - 0,4	0,2-6	94-100	100
1.3	Карбонатно-слюдисто-кварцевые	<0,2-4	26-47	13-38	18-32	0-18	1-6	1-11	0-1	0-3	0-1	0-4	0-0,7	0,3-8	92-100	100
1.4	Слюдисто-карбонатно-кварцевые	<0,2-6	31-53	23-41	11-20	2-11	0-9	0-10	0-1	0-1	0-0,5	0-5	0,1-0,6	0,5-5	95-100	100
2. Преимущественно слюдистые																
	Кварцево-слюдистые	<0,2 - 2	34-47	0-4	36-49	1-8	1-7	2-11	0-1	0-1	0-1	0-6	0,1 - 0,2	1-7	93-99	100
3. Преимущественно карбонатные																
	Слюдисто-кварц-карбонатные	<0,2-11	3-32	31-69	1-17	1-11	0-4	1-41	0-1	0-0,3	0	0-0,3	0,1-1,4	0,4-2	98-100	100
	Δ	<0,2 - 11	3 - 69	0-69	1-49	0-21	0-12	0 - 41	0-2	0-3	0-1	0-6	0 - 1,4	0,2-9	91-100	100

* Примечание: акцессории - минералы титана, гранаты, пироксены

ского анализа как на кусковом материале руды текущей добычи, так и на материале будущих периодов переработки сырья, представленном керном буровых скважин глубоких горизонтов Олимпиадинского месторождения. Результаты количественного определения полного минерального состава пород и руд различных участков и уровней глубин Олимпиадинского месторождения на материале выборки 110 проб представлены в таблицах 1 и 2.

Результаты исследований

Результаты исследований свидетельствуют о вариативности минерального состава перерабатываемого сырья с преобладанием разновидностей переменного кварцевого, слюдистого, либо карбонатного состава в соответствии с главными породообразующими минералами Олимпиадинского месторождения. Входящие в состав руд подчиненные минералы хлорит, полевые шпаты, углеродистое вещество, а также акцессорные минералы - гранаты (альмандин), турмалин, пироксены, рутил, ильменит и сульфиды распределены неравномерно.

В пределах каждого из участков месторождения выделяются метасоматиты переменного состава с преобладанием кварца, слюд или карбонатов.

Минеральный состав выборки рядовой руды участка Восточный характеризуется содержанием золота $<0,2$ г/т, сульфидов 0,3-8% при преобладании пирита (1-4%) и пирротина 0-7%) при минимуме арсенопирита ($<0,1\%$) (таблица 1).

Среди кварцевых пород участка выделяются разности:

- полевошпат-слюдисто-кварцевые (кварцитовидные) малосульфидные с содержанием кварца 33-38%, слюд 22-

25%, хлорита 5 - 7 %, альбита 21-28%;

- углеродистые слюдисто-кварцевые с содержанием кварца 34-50%, слюд 25 - 31 %, хлорита 2-5%, сульфидов 3-7%;
- карбонатно-слюдисто-кварцевые высокоуглеродистые с содержанием кварца 29-30%, карбонатов 21-24%, слюд 21-24%, углеродистого вещества 6%, сульфидов 4-6%. В пределах слюдистых метасоматитов выделяются:
- кварцево-слюдистые с содержанием слюд 24-49%, хлорита 2-7%, кварца 33-39%, сульфидов до 5%;
- слюдистые с содержанием слюд 34%, кварца 28%, сульфидов 8%.

Породы преимущественно карбонатного состава характеризуются содержанием карбонатов 35-62%, кварца 29-31%, слюд 7-19%, сульфидов 1-4%.

Сульфидная составляющая руд Восточного участка представлена пирротинном в пределах 0 - 7%, в меньшей степени - пиритом 1- 4% при минимуме арсенопирита - $<0,1\%$.

Богатые сурьмянистые руды участка Западный характеризуются содержанием золота $<0,2-11$ г/т, сульфидов 0,2 - 9%, из них минералы сурьмы -0,1 - 1,4%, в том числе: антимонит $<0,1 - 0,5\%$, бертьерит 0 - 0,9%, сурьма металлическая 0 - 0,7%. Содержание пирротина варьирует в пределах 0-6%, арсенопирита 0 - 3%, пирита 0 - 1% (таблица 2).

Среди кварцевых руд выделяются следующие разности:

- высококварцевые: кварц 42 - 69 %, сульфидов 1 - 9 %, золота $<0,2 - 7$ г/т;
- слюдисто-кварцевые: кварц 32- 57%, слюды 21 - 33%, хлорит 21 - 51 %, сульфиды 0,2 - 6%, золото $<0,2 - 7$ г/т;
- карбонатно-слюдисто-кварцевые: кварц 26 - 47 %, слюды 18 - 32 %,

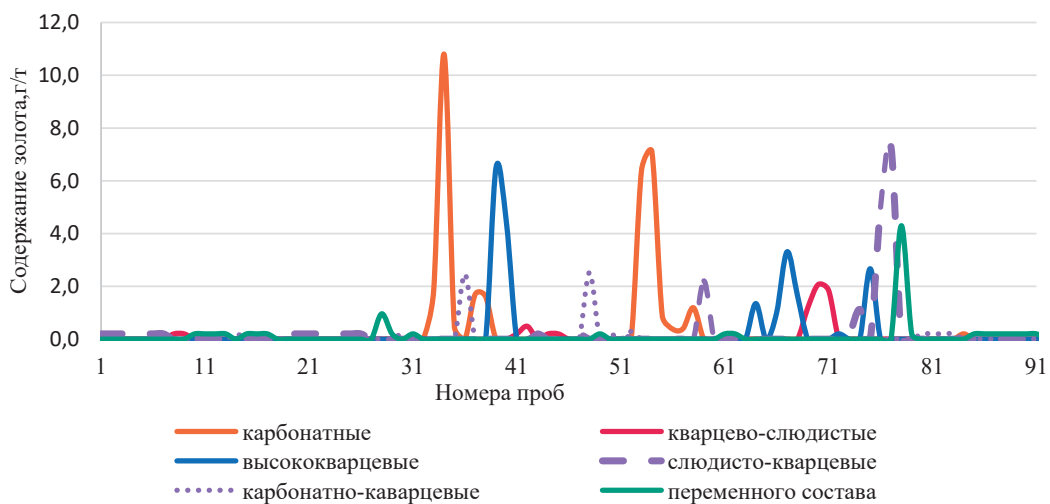


Рисунок 1 - Содержания золота в литологических разностях вмещающих пород

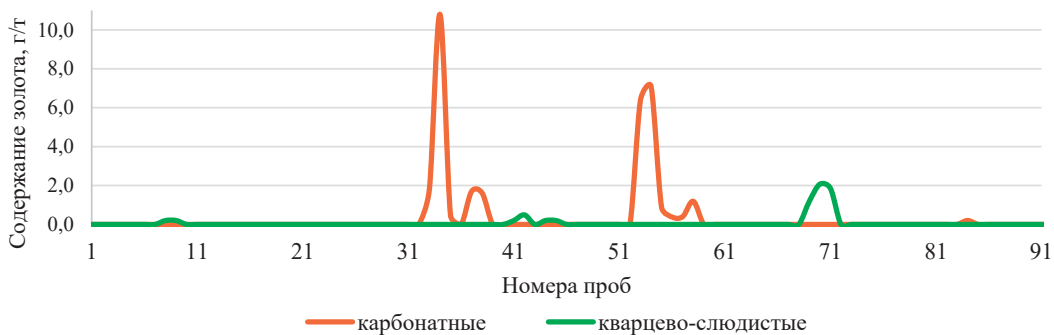


Рисунок 2 - Содержание золота в породах карбонатного и кварцево-сланцистого состава

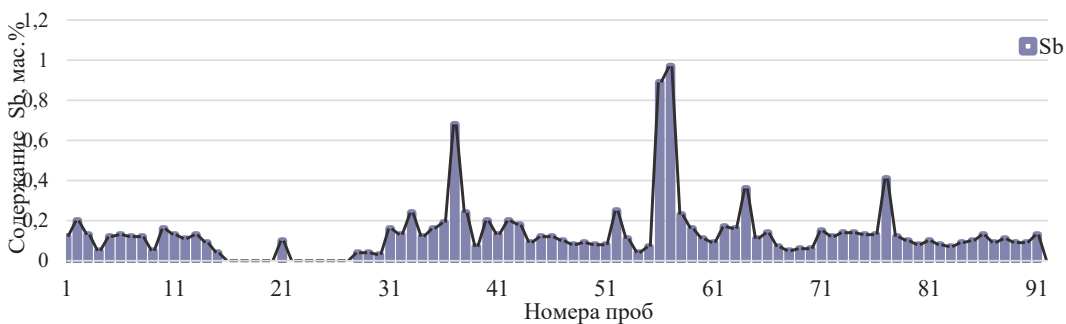


Рисунок 3 - Уровни минералов сурьмы в литологических разностях пород

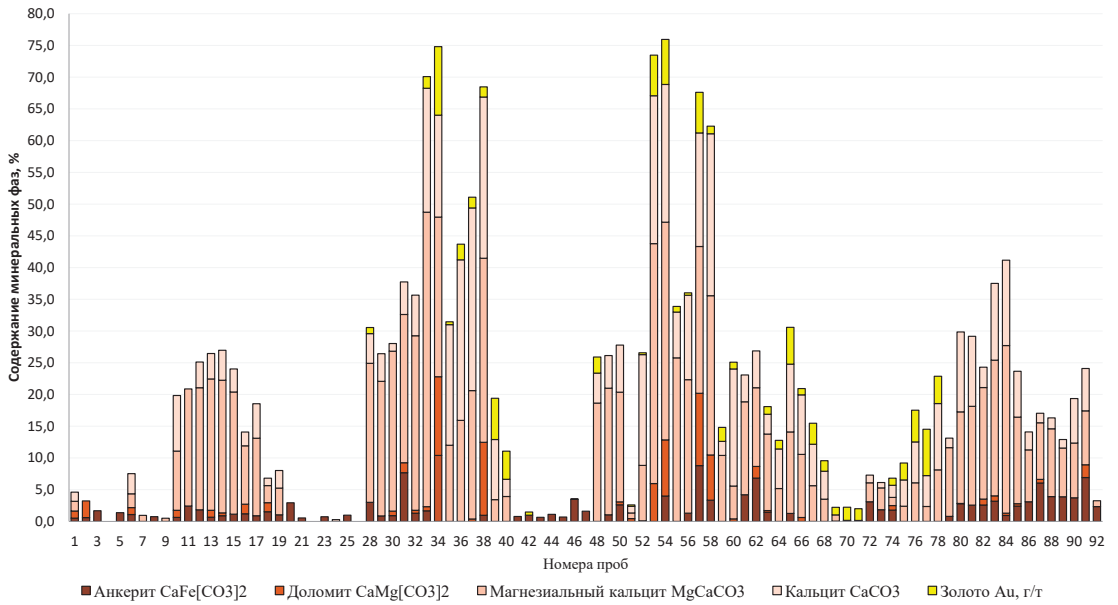


Рисунок 4 - Соотношения содержаний карбонатных минералов и золота в рудах Западного участка Олимпиадинского месторождения

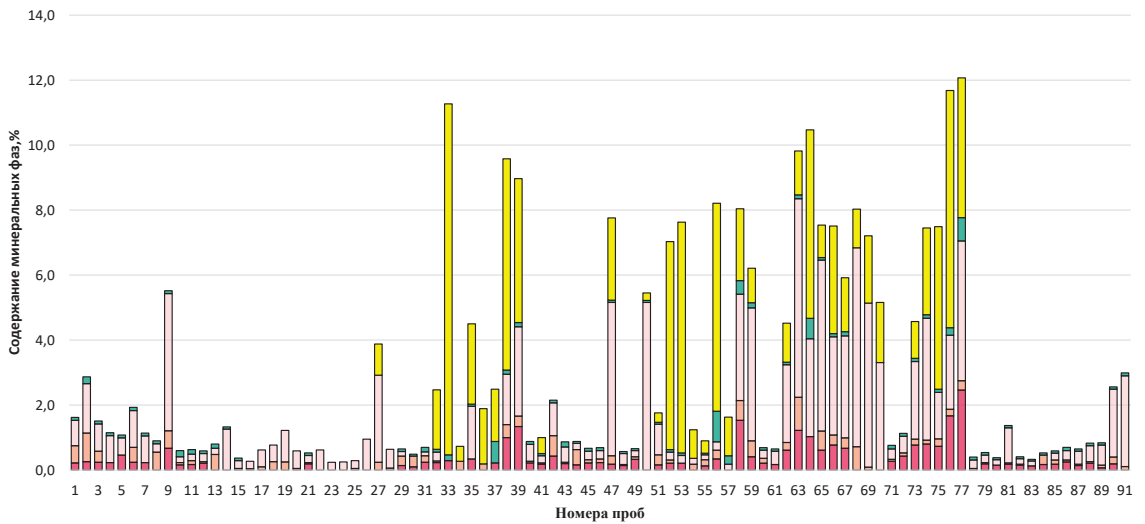


Рисунок 5 - Соотношения содержаний железосодержащих сульфидов и золота в рудах Западного участка Олимпиадинского месторождения

хлорит до 18 %, карбонаты 13 – 38 %, сульфиды 0,3 – 8%, золото < 0,2 – 4 г/т;

- слюдисто-карбонатно-кварцевые: кварц 31 - 53%, карбонаты 23 - 41%, слюды 11 - 20%, хлорит 2 - 11%, сульфиды 0,5 - 5%, золото < 0,2 - 6 г/т.

Слюдистые руды характеризуются содержанием слюд (преимущественно мусковита) 36–49%, ассоциируемых с хлоритом (до 8%), кварца 34–47%, сульфидов 0,5 – 5%, золота < 0,2 – 2 г/т.

Богатые карбонатные руды характеризуются содержанием карбонатов 31–69%, кварца 3 – 32%, слюд и хлорита 1 – 28%, сульфидов 0,4 – 2%, золота < 0,2 – 11 г/т.

Содержание золота в природных типах руд Западного участка при неравномерном распределении варьирует в широких пределах от < 0,2 г/т до 11 г/т в карбонатных рудах, до 7 г/т - в кварцевых (рисунок 1), до 2 г/т - в кварцево-слюдистых (рисунок 2).

Прослеживается корреляция золота с карбонатами и минералами сурьмы (рисунки 2 и 3). В рудах преимущественно кварцевого состава отмечается корреляция с арсенопиритом.

Карбонатная составляющая в рудах Западного участка Олимпиадинского месторождения представлена кальцитом (до 29%), магниезальным кальцитом (до 46%), в меньшей степени - доломитом и анкеритом (по 0 – 12%). Рисунок 4 демонстрирует соотношения содержаний карбонатных минералов и золота, свидетельствуя о преимущественной связи золота с кальцитом и его магниезальной разностью (рисунок 4).

Сульфиды в рудах Западного участка представлены пирротинном (0-6%), арсенопиритом (0 - 3%), пиритом < 1%, минералами сурьмы 0,1 - 1,4%, в том

числе антимонит < 0,1 - 0,5%, бертьерит 0 - 0,9%, сурьма металлическая 0 - 0,7%.

Литологические разновидности руд характеризуются вариативностью сульфидных ассоциаций при преобладании пирротина:

- для кварцевых руд характерны арсенопирит-пирротинная и пирит-арсенопирит-пирротинная ассоциации;
- в карбонатных разностях развита сурьмянистая минерализация с примесью арсенопирита и пирротина,
- высокслюдистые разности характеризуются резким преобладанием пирротина над арсенопиритом и пиритом.

Полученные данные свидетельствуют о том, что в целом руды Олимпиадинского месторождения характеризуются анизотропностью минерального состава при высокой вариативности содержаний пороодо- и рудообразующих минералов.

Одним из технологически значимых параметров руд Олимпиадинского месторождения является содержание сульфидов и соотношение железосодержащих минералов пирит/пирротин, обуславливающее эффективность технологического процесса биоокисления концентратов.

Связь золота с железосодержащими сульфидными минералами в рудах Западного участка Олимпиадинского месторождения показана на рисунке 5.

Определение минерального состава руды, включая содержания сульфидных минералов, обеспечивает эффективность процесса управления качеством руды, подаваемой в переработку.

Выводы

Вещественный состав руд является базовой основой для оценки технологических свойств руд, планирования ведения геолого-эксплуатационных работ и проектирования технологических процессов.

Руды Олимпиадинского месторождения, представленные метасоматитами переменного слюдисто-карбонатно-кварцевого и кварц-карбонатного состава и их углеродистыми разностями, характеризуются высокой вариативностью содержаний золота, породообразующих и сульфидных минералов (округленные значения): кварца 3 – 70%, карбонатов 0 – 70%, слюд 1 – 50%, хлорита 0 – 12%, полевых шпатов 0-40%, акцессорных минералов (гранаты, рутил) 0 – 15%, сульфидов 0 – 9%, золота <0,2 – 11 г/т.

Изучение минерального состава руд текущей добычи Олимпиадинского ГОК осуществляется участком КРФА ОГОК с использованием рентгеновского дифрактометра Bruker AXS D8 ENDEAVOR, с применением автоматизированной методики КРФА руд Олимпиадинского месторождения на базе программно-методического комплекса (ПМК), включающего в себя метод кластерной фазовой идентификации (ФИ) и метод полнопро-

фильного анализа (метод Ритвельда). Это в совокупности обеспечивает высокую достоверность и экспрессность в определении минералогических данных. Производительность участка в среднем составляет 2,5 тыс. проб в месяц.

Данные о минеральном составе, полученные на базе КРФА, являются информационной основой для моделирования рудного тела Олимпиадинского месторождения с целью управления качеством руд на стадии эксплуатационно-разведочных работ. Оперативный контроль минерального состава руды, включая содержания сульфидных минералов, позволяет прогнозировать соотношение пирит/пирротин и эффективность процесса биоокисления флотоконцентратов.

Изучение минерального состава руд на стадии эксплуатационно-разведочных работ на базе метода КРФА обеспечивает эффективность процесса управления качеством руд текущей добычи. Исследования руд глубоких горизонтов будущих периодов добычи обуславливают эффективное планирование горных работ в контуре рудного тела и показателей технологических процессов.

Список литературы

- 1 Якимов И.С., Кирик С.Д., Дубинин П.С., Пиксина О.Е., Бабкина Т.А., Савушкина С.И. Методический подход к разработке стандартных образцов технологических продуктов золотоизвлекательных фабрик // Стандартные образцы. 2015. №1.
- 2 Якимов И.С., Андрющенко Е.С., Безрукова О.Е., Дубинин П.С., Залого А.Н., Кирик С.Д., Самойло А.С., Рукоусев А.В., Савушкина С.И. Рентгенофазовый контроль минерального состава золотосодержащих сульфидных руд Олимпиадинского месторождения // Труды X конгресса ЦММ. - Красноярск, 2018.

VARIABILITY OF ORE MINERALOGY AT THE OLIMPIADA DEPOSIT

Starodubtseva A.A., Savushkina S.I., Snezhko V.A., Rukosuev A.V., Ozerskiy M.A.

Polyus Krasnoyarsk JSC, Krasnoyarsk, Russia

SavushkinaSI@polyus.com

Abstract

One of the main tasks of the current production is to improve the economic performance of the operations when processing the ores mined at deep levels.

Primary ores of the Olimpiada deposit are characterized by the complexity of the material composition and the variability of the main criteria of technological properties.

A high variability in mineral composition of primary ores affects the quality of raw materials and their technological properties.

This requires operational control of mineral contents and their ratios. The mineral composition of ores of the Olimpiada deposit is studied by X-ray diffraction (XRD).

Introduction

One of the main tasks of the current production is to improve the economic performance of the operations when processing primary ores mined at deep levels. Primary ores of the Olimpiada deposit are characterized by the complexity of the material composition and the variability of the main criteria for metallurgical properties of ore.

The Olimpiada deposit is located within the Verkhne-Yenashimsky ore cluster of the Yenisei mountain ridge. The mineralization is represented by four ore bodies of variable mineralogy with an average gold grade being 4 g/t. The Zapadny (West) area of the deposit contains three ore bodies, and the Vostochny (East) area contains one ore body, which is the richest in ore reserves.

Early stages of the deposit operation revealed two natural metallurgical types of ore: currently depleted oxidized ore and primary sulphide ore comprising 90% of the deposit reserves being mined by a 700 m deep open pit.

High variability of primary ores mineralogy at Olimpiada impacts the quality of the material to be processed and its metallurgical properties and drives

the need for prompt control over minerals content and their ratio as one of the key process parameters and indicators for ore quality control. A complex and variable material composition of Olimpiada primary ores imposes the requirement to use the information and analysis system when justifying the decisions made as part of the ore quality control.

Materials and Methods

Quantitative X-ray Diffraction Analysis (QXRD) is used to study feed ore mineralogy as one of the key process parameters. This method has been introduced to the operating practice at Polyus Krasnoyarsk.

Quantitative XRD analysis for estimation of mineral content is performed on a diffractometer D2 PHASER (Bruker) using CuK α radiation, monochromator with a 0.01° step in the 2 θ range. XRD patterns are processed using EVA, TOPAS software package and the Information Retrieval System of X-ray Diffraction Analysis. A powder diffraction file (PDF-2) database containing 15,819 reference minerals is employed for mineral identification along with the QXRD without any reference minerals, which is based on the reference intensity ratio (RIR) method [1,2].

Table 1 – Variability of ore mineralogy at the Olimpiada deposit, the Vostochny area

No	Group of rocks	Grade Au, g/t	Content, wt% (rounded values)										Total sulphides	Total non-ore minerals	Grand total	
			Non-ore minerals					Sulphides								
			Quartz	Carbonates	Mica	Chlorite	Accessory minerals*	Albite	Carbonaceous matter	Arsenopyrite	Pyrite	Pyrrhotite	Sb minerals			
Dominating quartziferous of a variable composition																
	Feldspar-mica-quartz (quartz) ^{**}	<0.2	33-38	0.4-1	22-25	5-7	2-4	21-28	0.1	< 0.1	0	0.3-0.4	0	0.3-0.4	99.5	100
	Mica-quartz-carboniferous ^{**}	<0.2	34-50	3-11	25-31	5-2	2-3	6-16	1-3	< 0.1	1	2-6	0	3-7	93-96	100
	Carbonate-mica-quartz highly carboniferous ^{**}	<0.2	29-30	21-24	21-24	1-2	1-2	9-10	6	< 0.1	1-4	2-3	0	4-6	94-96	100
Dominating micaceous of a variable composition																
	Quartz-micaceous ^{**}	<0.2	33-39	1-3	24-49	2-7	2-5	5-14	0-2	< 0.1	0-0.7	0.2-4	0	0.2-5	95-100	100
	Dominating micaceous	<0.2	28	13	34	2	2	10	3	< 0.1	1	7	0	8	92	100
Dominating carbonaceous																
	Dominating carbonate	<0.2	29-31	35-62	7-19	1-2	0-1	1-3	4-5	< 0.1	1-3	1	0	1-4	96-98	100
	Δ	<0.2	28-50	1-62	7-49	1-7	0-5	1-28	0.1-6	< 0.1	0-4	0.2-6	0	0.3-8	93-100	100

* Note: minerals of titanium, garnets, pyroxenes.

** Spot samples of metasomatites contain gypsum (≤2%) and hematite (≤0.5%)

XRD control over the mineralogy of gold-bearing sulphide ores is supported by the synchronization of the QXRD and chemical analysis data. The control covers currently mined coarse material as well as ore planned for mining in future and represented by core drilled at Olimpiada

deep levels. Tables 1 and 2 contain results of the quantitative analysis of 110 samples taken in different areas at various depth levels of the Olimpiada deposit to obtain a full mineral composition of ore and waste.

Table 2 – Variability of ore mineralogy at the Olimpiada deposit, the Zapadny area

No	Group of rocks	Grade Au, g/t	Content, wt% (rounded values)										Total sulphides	Total non-ore minerals	Grand total	
			Non-ore minerals					Sulphides								
			Quartz	Carbonates	Mica	Chlorite	Accessory minerals*	Albite	Carbonaceous matter	Arsenopyrite	Pyrite	Pyrrhotite	Sb minerals			
1. Dominating quartziferous of a variable composition																
1.1	Highly quartziferous	<0.2-7	42-69	7-20	8-20	0-4	0-6	3-9	0-1	0-1	0-1	0-6	0.1-0.3	1-9	91-99	100
1.2	Mica-quartz	0.2-7	32-57	0-13	21-33	0-21	0-12	2-18	0-2	0-2	0-1	0-5	0.1-0.4	0.2-6	94-100	100
1.3	Carbonate-mica-quartz	<0.2-4	26-47	13-38	18-32	0-18	1-6	1-11	0-1	0-3	0-1	0-4	0-0.7	0.3-8	92-100	100
1.4	Mica-carbonate-quartz	<0.2-6	31-53	23-41	11-20	2-11	0-9	0-10	0-1	0-1	0-0.5	0-5	0.1-0.6	0.5-5	95-100	100
2. Dominating micaceous																
	Quartz-mica	<0.2-2	34-47	0-4	36-49	1-8	1-7	2-11	0-1	0-1	0-1	0-6	0.1-0.2	1-7	93-99	100
3. Dominating carbonaceous																
	Mica-quartz-carbonate	<0.2-11	3-32	31-69	1-17	1-11	0-4	1-41	0-1	0-0.3	0	0-0.3	0.1-1.4	0.4-2	98-100	100
	Δ	<0.2-11	3-69	0-69	1-49	0-21	0-12	0-41	0-2	0-3	0-1	0-6	0-1.4	0.2-9	91-100	100

* Note: accessory minerals include minerals of titanium, garnets and pyroxenes

Results

The results prove the mineralogy variability of the treated material with variable quartz, mica or carbonate content dominating in the composition. This is in line with the major ore-forming minerals occurring at the Olimpiada deposit. Ore is composed of

subordinate minerals (chlorite, feldspars, carbonaceous matter) and accessory minerals (garnets (almandine), tourmaline, pyroxene, rutile, ilmenite and sulphides), which demonstrate uneven distribution.

Metasomatites occur in every area of the deposit. Quartz, mica or carbonates

are dominating in metasomatites variable composition.

The mineral composition of ROM samples taken in the Vostochny area shows gold grade of <0.2 g/t, sulphides content of 0.3-8% with pyrite (1-4%) and pyrrhotite (0-7%) dominating vs. traces of arsenopyrite (<0.1%) (Table 1).

Quartziferous rocks occur within the area in the following variations:

- feldspar-mica-quartz (quartz), low sulphide containing quartz (33-38%), mica (22-25%), chlorite (5-7%) and albite (21-28%);
- carboniferous mica-quartz containing quartz (34-50%), mica (25- 31%), chlorite (2-5%) and sulphides (3-7%);
- carbonate-mica-quartz highly carboniferous containing quartz (29-30%), carbonates (21-24%), mica (21-24%), carbonaceous matter (6%) and sulphides (4-6%). Micaceous metasomatites include the following variations:
- quartz-mica containing mica (24-49%), chlorite (2-7%), quartz (33-39%) and sulphides (up to 5%);
- micaceous containing mica (34%), quartz (28%) and sulphides (8%).

Rocks with dominating carbonaceous composition contain carbonates (35-62%), quartz (29-31%), mica (7-19%) and sulphides (1-4%).

Sulphide-containing ores of the Vostochny area are represented by pyrrhotite of a 0-7% content, pyrite of low content within 1-4% and minimal content of arsenopyrite (<0.1%).

High-grade antimony-rich ores of the Zapadny area have the following composition: Au grade of <0.2-11 g/t, sulphides (0.2-9%), of which antimony

minerals make 0.1-1.4%, including antimonite (<0.1-0.5%), berthierite (0-0.9%) and antimony regulus (0-0.7%). Pyrrhotite content varies within 0-6%, while that of arsenopyrite and pyrite reaches 0-3% and 0-1% correspondingly (Table 2).

Quartz ores reveal the following variations:

- Highly quartziferous: quartz (42-69%), sulphides (1-9%) and gold (<0.2-7 g/t);
- Mica-quartz: quartz (32-57%), mica (21-33%), chlorite (21-51%), sulphides (0.2-6%) and gold (<0.2-7 g/t);
- Carbonate-mica-quartz: quartz (26-47%), mica (18-32%), chlorite (up to 18%), carbonates (13-38%), sulphides (0.3-8%) and gold (<0.2-4 g/t);
- Mica-carbonate-quartz: quartz (31-53%), carbonates (23-41%), mica (11-20%), chlorite (2-11%), sulphides (0.5-5%), and gold (<0.2-6 g/t).

Micaceous ores contain mica (muscovite is dominant) of 36-49%, which is associated with chlorite (up to 8%), quartz (34-47%), sulphides (0.5-5%) and gold (<0.2-2 g/t).

High-grade carbonaceous ores contain carbonates (31-69%), quartz (3-32%), mica and chlorite (1-28%), sulphides (0.4-2%) and gold (<0.2-11 g/t).

The grade of gold mineralization within the Zapadny area natural ores demonstrates uneven distribution and varies within the following broad ranges: <0.2 to 11 g/t in carbonate ores, <0.2 to 7 g/t in quartz ores (Figure 1), and <0.2 to 2 g/t in quartz-mica ores (Figure 2).

Gold is found to be associated with carbonates and antimony minerals (Figures 2 and 3). Ores with quartz dominating in the composition demonstrate gold disseminated in arsenopyrite.

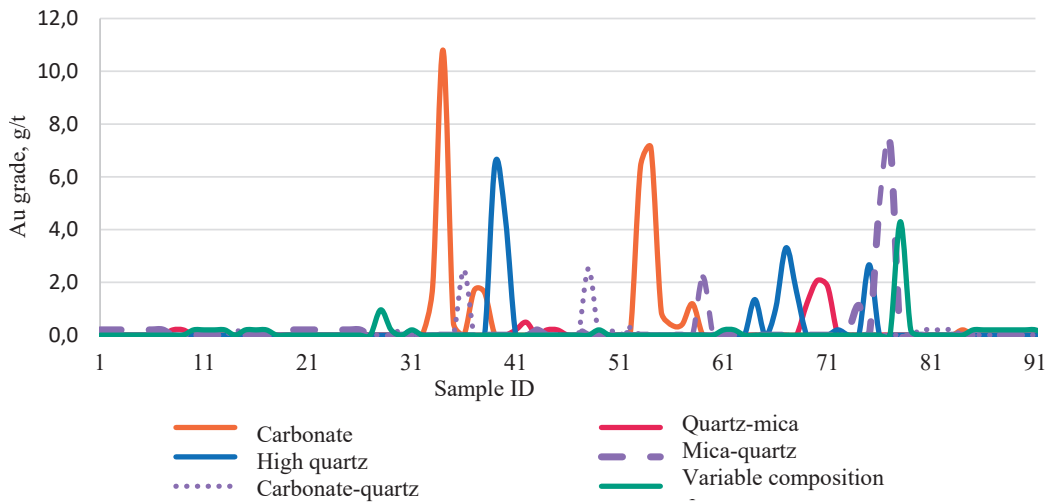


Figure 1 - Gold grade in lithological variations of host rocks

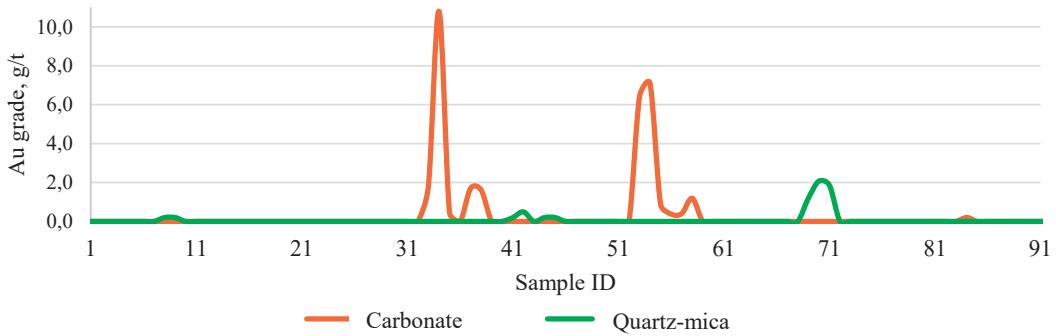


Figure 2 - Gold grade in rocks of carbonate and quartz-micaceous composition

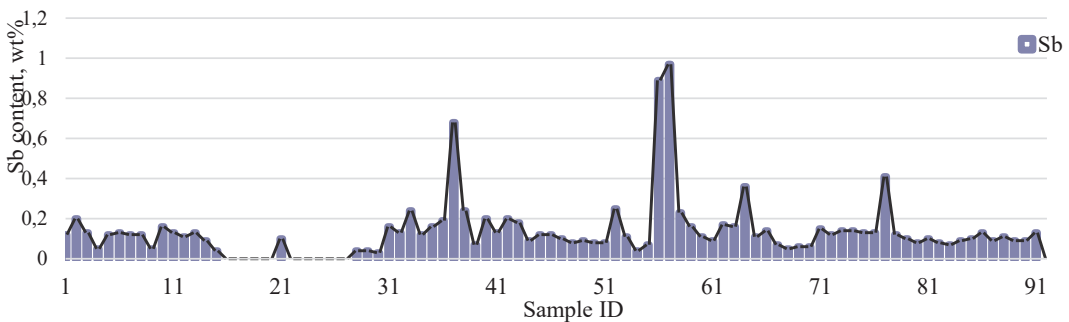


Figure 3 - Levels of antimony minerals in lithological variations of rocks

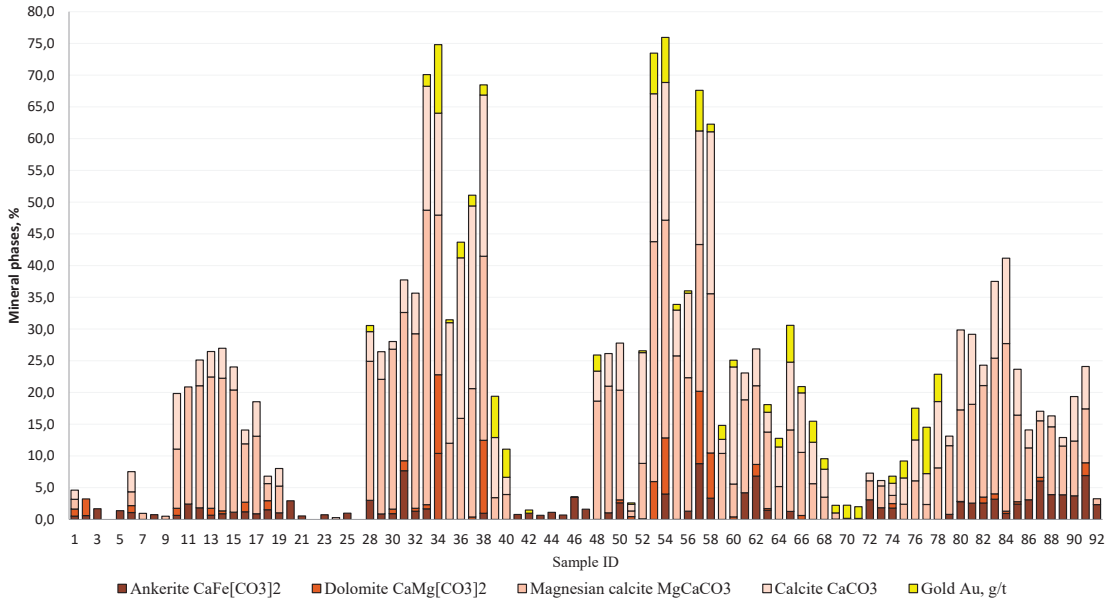


Figure 4 - Ratio of carbonate minerals content to gold grade in the Zapadny area ore of the Olimpiada deposit

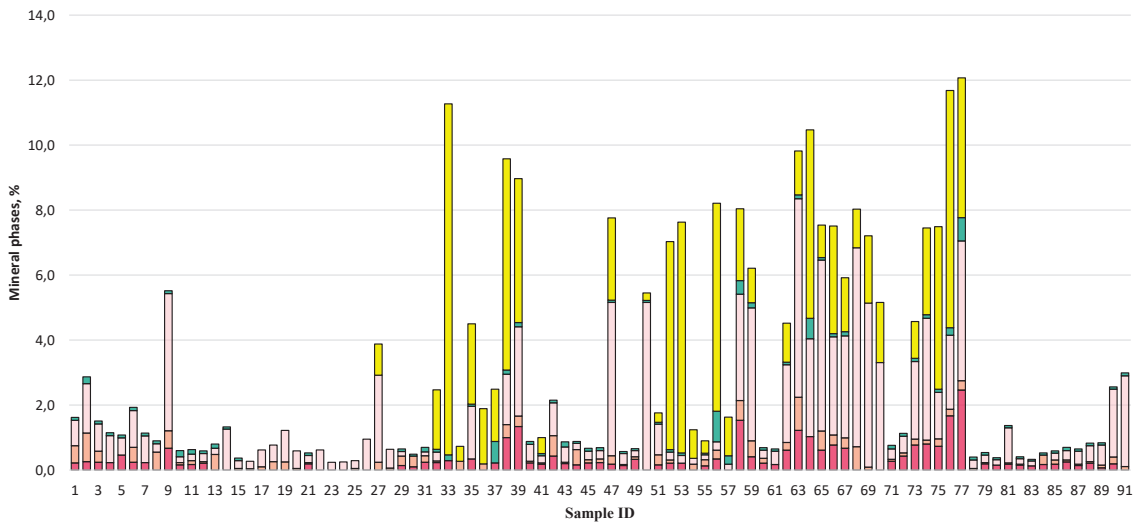


Figure 4 - Ratio of iron-bearing sulphides content to gold grade in the Zapadny area ore of the Olimpiada deposit

Ores within the Zapadny area of the Olimpiada deposit contain carbonates in the following forms: calcite (up to 29%), magnesian calcite (up to 46%), and minor traces of dolomite and ankerite (up to 0-12%). Figure 4 displays the relation of carbonate minerals content to gold grade, which proves dominating association of gold with calcite and its magnesian variation (Figure 4).

Sulphides occurring in the Zapadny area ores are represented by pyrrhotite (0-6%), arsenopyrite (0-3%), pyrite of <1%, antimony minerals (0.1-1.4%), including antimonite (<0.1-0.5%), berthierite (0-0.9%) and antimony regulus (0-0.7%).

Lithological variations of ores vary in sulphide associations with pyrrhotite dominating:

- quartziferous ore is represented by arsenopyrite-pyrrhotite and pyrite-arsenopyrite-pyrrhotite associations;
- carbonaceous variations contain dominant antimony mineralization with traces of arsenopyrite and pyrrhotite;
- highly micaceous variations show pyrrhotite dominating over arsenopyrite and pyrite.

The data obtained prove overall anisotropic mineralogy of Olimpiada ore with high variability of content of waste- and ore-forming minerals.

Sulphides content and iron-bearing minerals ratio (pyrite-pyrrhotite) are one of the key process parameters for the Olimpiada ore since they impact the performance of concentrates biooxidation process.

Figure 5 displays the gold association with iron-bearing sulphides in the ores occurring within the Zapadny area of the Olimpiada deposit.

Analysis of the ore mineralogy including the content of sulphide minerals ensures efficient quality control of ore feed for processing.

Conclusions

Material composition of ore is a basis for estimating metallurgical properties of ores, planning geological mining operations and process engineering.

Ores occurring within the Olimpiada deposit are represented by metasomatites of a variable composition (mica-carbonate-quartz and quartz-carbonate) and their

carboniferous variations. These are highly variable in gold grades and content of host rock-forming and sulphides minerals: quartz (3-70%), carbonates (0-70%), mica (1-50%), chlorite (0-12%), feldspars (0-40%), accessory minerals (garnets, rutile) (0-15%), sulphides (0-9%) and gold (<0.2-11 g/t).

QXRD team at the Olimpiada Mine is in charge of analyzing the mineralogy of ore currently mined at the deposit. QXRD analysis is performed using D8 ENDEAVOR X-ray Diffraction System by Bruker AXS. It is supported by the automated methodology for QXRD analysis of Olimpiada ores based on the software and methodology documentation package. The package includes the method of cluster phase identification and a full profile analysis (the Rietveld refinement method). Overall, this ensures high reliability and rapidity of mineralogy analysis. The average monthly throughput of the QXRD site amounts to 2,500 samples.

Ore mineralogy data obtained as a result of QXRD are used as the information source in modeling the Olimpiada ore body, which contributes to ore quality control as part of the grade control program. Prompt control of ore mineralogy including the content of sulphide minerals makes it possible to forecast pyrite/pyrrhotite ratio and efficiency of flotation concentrates biooxidation.

Ore mineralogy analysis based on the QXRD method and performed as part of the grade control program ensures efficient quality control of currently mined ore. Analysis of ore at deep levels to be mined in future contributes to the efficient planning of mining operations within the ore body outlines as well as processing parameters.

References

- 1 Yakimov I.S., Kirik S.D., Dubinin P.S., Piksina O.E., Babkina T.A., Savushkina S.I. Metodicheskiy podkhod k razrabotke standartnykh obraztsov tekhnologicheskikh produktov zolotoizvlekatelnykh fabrik // Standartnye obraztsy. [Methodological approach to development of reference samples from the products of gold processing plants // Reference materials. 2015 (1) (In Russian)] 2015. #1
- 2 Yakimov I.S., Andryushchenko E.S., Bezrukova O.E., Dubinin P.S., Zaloga A.N., Kirik S.D., Samoylo A.S., Rukosuev A.V., Savushkina S.I. Rentgenofazovyy kontrol mineralnogo sostava zolotosoderzhashchikh sulfidnykh rud Olimpiadinskogo mestorozhdeniya // Trudy X kongressa TsMM. [X-ray phase control of the mineral composition of gold-bearing sulphide ores of the Olimpiada deposit // Publications of the 10th Congress of Non-ferrous Metals and Minerals (In Russian)]. - Krasnoyarsk, 2018.