

**Федеральное агентство по недропользованию (Роснедра)
Федеральное государственное бюджетное учреждение
«Всероссийский научно-исследовательский институт
минерального сырья им. Н.М.Федоровского» (ФГБУ «ВИМС»)
Российское минералогическое общество (РМО)
Комиссия по технологической минералогии**

РОЛЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ МИНЕРАЛОГИИ В РАЦИОНАЛЬНОМ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИИ

**Материалы Российского совещания
с международным участием**

15-16 мая 2018 г.

Москва, 2018

УДК 549.08:622.7

М 34

ББК 26.31

33.4

М 34 Материалы Российского совещания с международным участием «Роль технологической минералогии в рациональном недропользовании». Москва, 15-16 мая 2018 г. М.: ВИМС, 2018, 234 с. ISBN 978-5-9500949-7-2

В сборник включены материалы Российского совещания с международным участием «Роль технологической минералогии в рациональном недропользовании». Москва, 15-16 мая 2018 г., посвященного обсуждению достижений и актуальных вопросов, проблем и перспектив исследований в области технологической минералогии по тематическим рубрикам, охватившим вопросы: основные проблемы освоения и развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации, минералого-технологическая оценка минерального сырья, проблемы технологической минералогии, современные технологии переработки минерального сырья, экологические аспекты переработки минерального сырья.

Материалы опубликованы в авторской редакции.

Рецензенты: доктор геол.-мин. наук И.Г. Печенкин
кандидат геол.-мин. наук Н.Г. Беляевская

ISBN 978-5-9500949-7-2

© РИС «ВИМС», 2018 г.

© Коллектив авторов, 2018 г.

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ТИПИЗАЦИИ ЗОЛОТО-МЕДНО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ РУД МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЛИЧКВАЗ-ТЕЙ

Е.И. Подолян¹, А.П. Бороздин¹, И.К. Котова²

1 – ООО «ЛИМС», г. Санкт-Петербург, podolyan@lims-lab.com,

2 – ФГБОУ ВО СПбГУ, г. Санкт-Петербург

Месторождение Личквaz-Тей расположено в Мегринском районе Сюникской области на юго-западе Армении. Объект входит в Цамбак-Зангезурскую структурно-металлогеническую зону и приурочен к Айгедзорскому рудному полю, в котором выделяется два этапа рудообразования: ранний медно-молибденовый (Айгедзорское и Егникасарское месторождения) и более поздний – золото-сульфидный (месторождения Личквaz-Тей и Тер-терасар). В структурном плане месторождение Личквaz-Тей контролируется двумя субпараллельными разломами, Дебаклинским и Тейским. Рудные жилы и зоны прожилково-вкрапленной минерализации формировались вследствие повторяющихся тектонических подвижек. Литологический контроль оруденения проявляется в приуроченности повышенных концентраций золота к рудным жилам, заключенным в породах повышенной основности [1].

Основой для первичного выделения природных типов руд послужил массив данных рядового химического опробования керна разведочных скважин месторождения (объем выборки $n=21304$). С применением метода главных компонент факторного анализа в два этапа были выделены рудно-геохимические ассоциации. На первом этапе проанализирована вся выборка с широким набором переменных – Au, Ag, Cu, Pb, Zn, As, Al, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Cr, Co, Fe, K, La, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Sb, Sc, Sr, Ti, V, W, Y, Zr. Анализ показал крайне высокую дисперсию системы и позволил разделить выборку на рудные и безрудные ассоциации. Было обосновано, что высокие положительные значения рудного фактора хорошо коррелируют с искусственным и отчасти экономическим параметром – содержанием условного золота, в расчет которого включены золото, серебро и медь. На втором этапе анализа был сужен круг переменных и ограничена выборка по критерию содержания условного золота более 0,5 г/т. Таким образом, для классификации руд в качестве переменных были использованы только рудные компоненты: Au, Ag, As, Cu, Pb, Zn, Sb, Bi, Cd, Fe, Co, Ni, а объем выборки составил 2966 проб. В результате выделены и проанализированы 4 фактора:

$$\begin{array}{ll}
 I_{30\%} \frac{\quad\quad\quad}{Zn_{80}Cd_{79}Pb_{77}Ag_{68}Au_{55}Sb_{52}Cu_{50}Bi_{50}As_{37}Fe_{33}} & II_{15\%} \frac{Cd_{41}Zn_{40}Au_{30}Pb_{29}As_{15}}{Fe_{60}Cu_{55}Bi_{53}Sb_{30}Ag_{27}} \\
 III_{12\%} \frac{Sb_{55}Ag_{43}As_{37}}{Co_{58}Fe_{45}Zn_{31}Cd_{30}Pb_{17}} & IV_{10\%} \frac{As_{63}Au_{51}Co_{42}Fe_{30}}{Cu_{29}Bi_{26}Zn_{18}Cd_{17}}
 \end{array}$$

Анализ структур факторов в сочетании с результатами минераграфических наблюдений по случайно отобраным образцам руд, а

также анализ диаграмм распределения значений факторов в точках наблюдения позволил выделить 4 природных типа руд: золото-арсенопиритовый, золото-полиметаллический, медно-полиметаллический и золото-пиритовый тип. Выделение этих природных типов руд согласуется с более ранними исследованиями вещественного состава руд месторождения. Так, в работе предшественников [1] обосновано выделение арсенопиритового, пирит-халькопиритового, халькопирит-галенит-сфалеритового и пиритового минеральных типов руд. Авторами было предложено выделение трех технологических сортов: пирит-арсенопиритового (10-15% запасов), пиритового (20-25% запасов) и халькопирит-сфалеритового (60% запасов).

На основании предварительного этапа исследований были определены граничные значения факторов в точках, которые позволили распознать типовую принадлежность каждой рядовой пробы. С применением выделенных критериев, геологами ЗАО «Личкваз» были сформированы четыре типовые лабораторные пробы из kernового материала рядовых проб разведочного бурения. Для всех четырех проб были изучены особенности минерального состава и проведены тестовые опыты по единой моделирующей технологической схеме. Моделирующая технологическая схема воспроизводит в упрощенном варианте технологическую схему, разработанную АО «Полиметалл Инжиниринг» для внедрения на Капанском ГОКе для переработки руд Личкваз-Тейского месторождения.

В ходе минералогических исследований установлено, что рудная минерализация различных природных типов руд представлена практически идентичным набором минералов, главным различием между пробами являются количественные соотношения этих минералов, их гранулометрический состав и особенности сростаний. При этом, для всех четырех типов руд главными минералами-концентраторами золота являются арсенопирит, в меньшей степени пирит и самородное золото, минералами-концентраторами меди являются халькопирит, блеклые руды, минералами-концентраторами цинка - сфалерит и блеклые руды. Минералогические исследования позволили дать прогноз технологическим свойствам различных природных типов руд. В ходе оптико-геометрического анализа установлены следующие главные особенности минерального состава, определяющие технологические свойства:

1. Существенные содержания арсенопирита установлены только в пробе золото-арсенопиритового типа, при этом арсенопирит формирует довольно крупные идиоморфные кристаллы, которые хорошо подвергаются гравитационному обогащению. Поскольку доля самородного золота в минеральном балансе золота не превышает первых процентов, можно сделать вывод, что качество золотого концентрата обуславливается лишь содержанием золота в арсенопирите и степенью раскрытия арсенопирита при рудоподготовке. Таким образом, получение богатого по золоту (>50 г/т) гравитационного концентрата возможно только в золото-арсенопиритовом природном типе руд.

2. Сфалерит в изученных рудах образует тонкие эмульсионные сростания с халькопиритом (структуры распада твердого раствора), раскрытие

которых при измельчении крайне затруднительно. Такие образования будут снижать эффективность селекции меди и цинка при флотации.

3. Минералы группы блеклых руд являются одновременно концентраторами меди, цинка и вредных компонентов – мышьяка и сурьмы. Их широкое распространение в рудах 2 и 3-го типов будет препятствовать получению селективных продуктов достаточного качества.

Данный прогноз по минералогическим исследованиям был подтвержден технологическими опытами. Технологическая схема включает выделение гравитационного концентрата ($\gamma=1\%$), медную флотацию с двумя перечистками, цинковую флотацию с двумя перечистками с получением коллективного цинк-мышьякового концентрата и контрольную пиритную флотацию.

При обогащении по моделирующей схеме пробы, относящейся к золото-арсенопиритовому типу, получен гравитационный концентрат с выходом около 1% и качеством более 50 г/т золота, при извлечении золота 13,8%. Это обуславливается высокой долей арсенопирита в составе пробы. При медной флотации в пенный продукт извлекается около 50% меди, однако содержание меди в концентрате не превышает 5%. Кроме того, медный концентрат содержит около 2,6% цинка, 2,4% свинца и 7,5% мышьяка, причинами чего являются минералогические факторы, описанные выше. Извлечение золота в цинк-мышьяковистый концентрат составляет 23% при содержании золота в продукте 77 г/т. На этой операции удается извлечь основную часть цинка – 68% при содержании на уровне 8,5 масс. %. В объединенный промпродукт извлекается еще 29% золота с пониженными содержаниями остальных компонентов по сравнению с другими продуктами. Контрольная пиритовая флотация дает прирост извлечения золота менее 10%, по остальным компонентам ощутимого прироста по извлечению нет.

Гравитационное обогащение пробы золото-полиметаллического (золото-галенит-сфалеритового) типа позволяет получить в концентрате около 54 г/т золота с повышенными содержаниями свинца (7,8%) и мышьяка (3,45%). Извлечение золота в гравикоцентрат составило около 20%. Медноцинковая селекция этого типа руд также затруднена. В медном продукте (8,9 масс. % меди) активно накапливается цинк (24,3 масс. %), свинец (8,4 масс. %) и мышьяк (1,8 масс. %). Такой состав концентрата обусловлен недостаточным раскрытием минеральных сростаний, но главным образом эмульсионной вкрапленностью халькопирита в сфалерит, что делает концентрат медной селекции скорее цинковым, нежели медным. Дальнейшая операция по получению цинк-мышьяковистого концентрата позволяет повысить извлечение золота на 14,1%, серебра на 24,3%, цинка на 39,8%. Содержания полезных компонентов в промпродукте и пиритовом концентрате находятся на весьма низком уровне.

Проба, относящаяся к медно-полиметаллическому (пирит-сфалерит-халькопиритовому) типу, при гравитационном обогащении показывает неудовлетворительные результаты: извлечение золота 12% при выходе концентрата 1,3% с содержанием золота в нем 6,7 г/т. Медный концентрат

соответствует кондициям на медные концентраты. Содержание меди 23,9% (извлечение 60%), золота около 4 г/т (извлечение 16%). Однако есть примеси цинка (4%), свинца (0,8%) и мышьяка (1,3%). Последующая цинковая и контрольная пиритовая флотации малоэффективны.

При гравитационном обогащении пробы золото-сульфидного (золото-пиритового) типа в концентрат извлекается всего 6,6% золота при содержании 9,1. В медный концентрат извлекается 36% меди и 41,6% цинка при их содержании в продукте 13,5% и 4,1% соответственно. В цинк-мышьяковистый продукт извлечено 28% золота при содержании в продукте 9,6 г/т, 34% меди (3,8 масс. %) и 18 % цинка (0,6 масс. %). Последующие операции по сбору промпродукта и контрольной пиритной флотации показывают незначительный прирост извлечения по всем компонентам.

Результаты опытов в сочетании с данными детального минералогического анализа позволяют предложить выделение двух технологических типов: золото-арсенопиритового который в целом отвечает выделенному золото-арсенопиритовому природному типу и золото-полиметаллического, который представлен тремя остальными природными сортами. Для первого рекомендуется пересмотреть схему обогащения в сторону отказа от медной флотации и сосредоточить усилия на повышении извлечения золотоносного арсенопирита. Для второго типа, рекомендуется провести исследования, направленные на оптимизацию гравитационно-флотационной схемы с выделением, как ожидается, крупного самородного золота в гравитационный концентрат, и последующей селективной флотацией с получением медного и цинкового и золото-арсенопиритового концентратов кондиционного качества с приемлемым содержанием вредных примесей.

Выводы: Статистическая обработка данных методом главных компонент факторного анализа в сочетании с результатами минералогических исследований при интерпретации полученных зависимостей позволяют с достаточной долей надежности выделять природные типы руд по геохимико-минералогическим критериям.

1. Применение методов математической статистики позволяет разработать алгоритм распознавания природного типа руд в каждой точке наблюдения (рядовой пробе химического опробования), что упрощает задачу формирования типовых технологических проб.

2. Полученные результаты демонстрируют отчётливую связь технологических свойств руд и особенностей их минералогического состава. Результаты опытов по моделирующим схемам в сочетании с минералогическим анализом концентратов позволяют выполнить технологическую типизацию руд, а математический аппарат позволяет распознавать предложенные технологические типы в пробах рядового опробования, а значит и в подсчетных блоках. Все это позволяет решить задачу геолого-технологического моделирования месторождения.

Литература

1. Тунян Г.А., Матевосян А.Ш., Тер-Абрамян Т.Л., Казарян Г.О.. Сводный отчет о результатах детальной разведки Личквас-Тейского золоторудного месторождения в Мегринском районе Армянской ССР за 1980-1985 гг. с генеральным подсчетом запасов по состоянию на 01.06.1985 г. В 3-х томах, кн. 1. Ереван: 1986. С. 1-384.

ПРОБЛЕМЫ В ОБЕСПЕЧЕНИИ ПРОМЫШЛЕННОСТИ КВАРЦЕВЫМ СЫРЬЕМ ПОВЫШЕННОГО КАЧЕСТВА

Ю.А. Поленов, В.Н. Огородников

УГГУ, г. Екатеринбург, polenov_yu@mail.ru

Минерально-сырьевая база кварца России, используемого в высокотехнологичных производствах, традиционно объединяет месторождения пьезооптического кварца, горного хрусталя, гранулированного, прозрачного и молочно-белого жильного кварца. Востребованность и обеспеченность различными видами кварцевого сырья неоднозначна.

На рубеже 50 – 60-х годов прошлого столетия в промышленности начал внедряться новый вид природного кварцевого сырья – гранулированный кварц, на много лет определивший пути развития сырьевой базы кварца для плавки прозрачного кварцевого стекла – особо чистого кварца (современной терминологии – сырьевой источник для высококачественных кварцевых концентратов – НРК).

Анализ использования кварцевого сырья в СССР во второй половине 20-го столетия убеждает в том, что стабильное обеспечение различного профиля государственных предприятий кварцевым сырьем обеспечивалось путем одновременной разработки во многих регионах страны большого числа месторождений и отдельных кварцевых объектов, имеющих стабильные параметры. Предприятия требовали поставки продукции с объектов с запасами, обеспечивающими производство на многие годы. Исходя из качества поставляемого сырья, промышленные предприятия разрабатывали свои технологии использования получаемого кварцевого материала, что обеспечивало им выпуск продукции, соответствующей ГОСТам. В связи с подобной ситуацией экспедиции 6-го ГУ Мингео СССР, в дальнейшем ВПО «Союзкварцсамоцветы», отрабатывали десятки кварцевых объектов одновременно. Только крупнейшие в этой системе ПО «Уралкварцсамоцветы» и ПО «Кварцсамоцветы» с 1965 года до 1992 год вели добычу жильного кварца на Ларинском, Маукском, Кыштымском, Кузнечихинском, Вязовском, Агордяшском, Светлореченском, Новотроицком, Караяновском, Пугачевском, Актасском, Мулалинском месторождениях жильного кварца, в полной мере обеспечивая потребность промышленности страны кварцевым сырьем.