

УДК 622.275.553

## ЗОЛОТО-МЕДЬ-МОЛИБДЕН-ПОРФИРОВЫЕ РУДЫ

Бурдин Н. В., Лебедев В. И., Лебедев Н. И.  
*Тувинский институт комплексного освоения  
природных ресурсов СО РАН, Россия*

Информация об авторах: [www.famous-scientists.ru](http://www.famous-scientists.ru)

**Рассмотренные в статье особенности геологического строения и металлогении Восточной Тувы, в пределах которой сосредоточены перспективные объекты золото-медно-молибден-порфировой рудной формации, позволяют выделить золото-медно-молибденовую провинцию площадью около 70 тыс. км<sup>2</sup>. Приведена технология обогащения руды, которая обеспечивает высокие показатели извлечения золота, серебра, меди (общее извлечение в концентраты Au – 99,2 %, Ag – 92,0 %, Cu – 80,2 %). Полученный концентрат характеризуется высокими содержаниями меди (50 %), а также золота и серебра, что позволяет относить концентрат к медным концентратам высшей марки КМО (ГОСТ 48-77-74).**

Особенности геологического строения и металлогении Восточной Тувы, в пределах которой сосредоточены перспективные объекты золото-медно-молибден-порфировой рудной формации, позволяют выделить золото-медно-молибденовую провинцию площадью около 70 тыс. км<sup>2</sup>. Границы провинции пространственно совпадают с контуром ареала относительно разновозрастного магматизма, приуроченного к области развития ранних каледонид (салаирид) в сопряжении их с байкалидами Тувино-Монгольского массива ранней консолидации и Восточно-Саянского жесткого блока [1]. Становление металлоносных вулканоплутонических комплексов происходило в возрастном интервале от раннего кембрия до позднего девона, а на отдельных участках и в более позднее время [2]. В провинции выделен ряд металлогенических зон (Аксугско-Кандатская, Хамсаринская, Ожинско-Дерзигская, Балыктыгхем-Билинская, Восточно-Таннуольская, Центрально-Саянская, Хемчикская и Монгун-Тайгинская) с месторождениями и рудопроявлениями

медно-молибден-золото-порфировой формации, которые характеризуются комплексным составом руд с различными соотношениями в них меди, молибдена и золота.

В связи с тем, что промышленное освоение разведанных месторождений золото-медно-молибден-порфировых руд требует специализированной геолого-экономической и геотехнологической проработки, для анализа перспектив и экономической оценки авторами выбран один из наиболее доступных объектов – Кызык-Чадрское рудное поле Ожинско-Дерзигской металлогенической зоны. Эта зона протяженностью 180 км и шириной 8-15 км пространственно тяготеет к северному ограничению Каахемской зоны глубинного разлома. При заложении и развитии его во внешнем прогибе ранних каледонид (салаирид) отлагались терригенные толщи верхнего кембрия, ордовика и силура. В орогенный этап, в конце силура – начале девона, происходило образование грабенов, в которых шло накопление вулканогенных образований основного, среднего и кислого состава, а по обрамлению гра-

бенов в зонах разломов происходило становление гранитных интрузивов нормального или субщелочного состава. Западное окончание зоны представлено Ожинским выступом, сложенным гранитоидами тануольского комплекса с останцами метаморфизованных пород нижнего кембрия. На востоке зона «утыкается» в Агойский выступ докембрийских кристаллических пород. С позднепалеозойскими гранит-порфиrowыми интрузивами в обрамлении грабенов связываются проявления рудной минерализации: свинца, цинка, молибдена, меди, редких металлов [2]. Проявления молибденово-медной минерализации сконцентрированы в основном в обрамлении Ожинского выступа. С одним из интрузивов в южном обрамлении выступа связано месторождение золото-медно-молибден-порфиrowых руд – Кызык-Чадрское.

**Кызык-Чадрское рудное поле** располагается в южном обрамлении Ожинского выступа, в бассейне верхнего течения рр. Кызык-Чадр и Мезель. Кызык-Чадрское месторождение известно с давних пор, начало детально изучаться с 1949 года. В период 1949-1955 гг. оно изучалось как золото-медный объект. Разведочные работы были сосредоточены на участке, представляющем собой массив гранитов площадью 1000 x 100-200 м<sup>2</sup> с наложенной вкрапленно-жильной золото-медной минерализацией. Позднее данный объект привлек свое внимание как крупный золото-медно-молибден-порфиrowый рудный штокверк.

В контурах рудного поля: проведены геолого-структурные, геохимические и геофизические (ВП) исследования масштаба 1: 10000; выполнены специализированные поиски, направленные на определение истинных параметров рудного штокверка; на профилях через 400 м пройдены магистральные каналы и шурфы, поисковые скважины. В результате: штокверк оконтурен на поверхности по изолинии содержания меди 0,2%; прослежен по простиранию на 2,3 км при мощности

от 50 м до 200-400 м; определено содержание меди – 0,1-0,6% (максимально 2,6%) при среднем 0,29% и молибдена – 0,001-0,05% при среднем – 0,01%. Буровыми скважинами оруденение при сохранении качественных и количественных параметров прослежено без признаков выклинивания до глубины 400 м. Это служит основанием для прогноза оруденения аналогичных параметров до глубины 600 м. В качестве исходных данных при подсчете прогнозных ресурсов категории Р<sub>1</sub> были приняты: площадь рудного контура, определенная по изоконцентрате меди 0,2% – 605000 м<sup>2</sup>; коэффициент рудоносности К<sub>р</sub>=0,54; среднее содержание меди – 0,29%, молибдена – 0,01%; объемная масса – 2,76 т/м<sup>3</sup>; глубина подсчета – 600 м. При этих параметрах прогнозные ресурсы Р<sub>1+2+3</sub> Кызык-Чадрского рудного поля суммарно оцениваются: медь – 2350 тыс. т, молибден – 93,6 тыс. т, золото – 45-56 т. Это позволяет отнести его к категории крупных по масштабу объектов, заслуживающих первоочередного освоения. Пространственные границы его совпадают с площадью (8x3 км<sup>2</sup>) распространения Кызык-Чадрского интрузива, сложенного разновидностями пород, дифференцированными по составу от габбро-диоритов до гранитов и порфиrowов. С заключительной фазой формирования интрузии – порфирами связаны интенсивные изменения в виде зон окварцевания и кварц-серицитового гидротермально-метасоматического преобразования вмещающих пород. На эти зоны наложена молибденит-энаргит-халькопиритовая, а на ограниченных участках – золото-энаргит-борнитовая минерализация штокверкового типа, которая развита на площади 3,5 x 0,3-0,5 км<sup>2</sup>. Рудная минерализация образует более или менее равномерную вкрапленность и прожилки в гранитах и отчасти в непосредственно прилегающих к ним сланцах. Выделяются следующие типы руд: 1) окисленные, распространенные до глубины нескольких метров, представленные ковеллином,

малахитом, азурином, хризоколлой и лимонитом; 2) смешанные руды, развитые до глубины 50-80 м, сложенные минералами зоны окисления, а также гипогенными – халькозином, халькопиритом, пиритом, молибденитом и гематитом; 3) первичные руды распространены на глубинах более 50-80 м и сложены преимущественно халькопиритом, в подчиненном количестве присутствуют борнит, молибденит и редкие – галенит, сфалерит и самородное золото. Видимая минерализация самородного золота наблюдается в кварцевых жилах, секущих граниты и вмещающие их глинистые сланцы атчольской свиты силура. Обычно они маломощные, невыдержанные по простиранию и характеризуются низким содержанием золота. Параметрические характеристики разведанных золото-кварцевых жил приведены в таблице 1. Мощность жил изменяется в широких пределах – от микроскопических до 4,5 м, при средней – 0,3-0,8 м. Жилы сложены молочно-белым брекчированным кварцем, обломки которого сцементированы сульфидами меди. Для руд характерны полосчатые, петельчатые и брекчиевые текстуры. Рудные минералы представлены, в основном, борнитом, количество которого местами превышает 15-20%. В небольшом количестве отмечаются халькопирит и самородное золото. Содержание золота колеблется от следов до 150 г/т, в среднем составляет 8,2 г/т; меди от долей до 20% и более, среднее содержание ее – 3,9%. Кроме того, установлено присутствие серебра с содержанием до 28 г/т.

К числу важнейших задач, предусмотренных Стратегией социально-экономического развития Республики Тыва на период до 2020 года и требующих первоочередного решения, относятся: разработка научно обоснованных рекомендаций по наращиванию минерально-сырьевой базы благородных металлов; создание эффективных геотехнологий и обогатительных аппаратов извлечения золота с целью многократного увеличения объемов золотодобычи в реги-

оне. Эти задачи решаются коллективом ТувВИКОПР СО РАН в процессе: проведения специализированных прогнозно-металлогенических исследований по выявлению в известных золоторудных районах Тувы, перспективных на выявление промышленных рудных объектов Au-Hg – **аргиллитовой**, Au – **березитовой** и Au – **углеродисто-сульфидной** формаций; внедрения разработанных эффективных технологий промышленного извлечения мелкого и тонкодисперсного золота и попутных компонентов из окисленных и полуокисленных руд; внедрения технологий обогащения минерального сырья на базе созданных в ТувВИКОПР СО РАН аппаратов первичного гравитационного обогащения и модульной гидрометаллургической обогатительной установки высокотемпературного выщелачивания. Одной из наиболее сложных проблем в повышении экономической эффективности при отработке рудных месторождений по-прежнему остается максимально достижимая степень гравитационного извлечения мелких, тонких и дисперсных фракций благородных металлов без применения экологически опасных химических реагентов. На первом этапе были выполнены научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы, имевшие целью создание экспериментальных установок для оценки параметрических характеристик перемещения тяжелых частичек в потоках пульпы различной плотности. Распределение минералов и металлов повышенного удельного веса при стесненном падении в тяжелой среде, а также в вихревых и восходящих потоках, в центробежном поле и т. д.

Наряду с успешными испытаниями обогатительных аппаратов лоткового типа различной производительности, институт продолжал исследования и опытно-конструкторские работы, ориентированные на применение центробежно-вихревого принципа обогащения минерального сырья с концентрацией тяжелых тонких металлов, минералов с использованием

Табл. №1.

№№ кварцевых жил	Длина, м	Прослеженная глубина по падению, м	Мощность, м			Содержание			Общие запасы	
			от	до	средняя	Cu, %	Au, г/т	Ag, г/т	Золота, кг	Меди, т
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Жила № 1	170	170	0,1	4,5	0,8	3,9	8,2	28,06	311,6	1460
Жила № 2	36	-	0,2	0,6	0,3	-	до 16	-	-	-
Жила № 3	160	45	0,1	2,0	0,4	-	14	-	298,9	-
Жила № 4	140	-	-	-	0,4	-	до 2,8	-	-	-
Жила № 5	50	-	-	1,0	-	-	до 1,6	-	-	-
Жила № 6	120	-	-	-	0,3	-	до 1,2	-	-	-
Жила № 7	40	10	0,1	2,0	0,3	-	до 1,6	-	-	-

«эффекта воронки». Полупромышленные испытания технологии обогащения руд месторождения «Кызык-Чадыр» были проведены с переработкой 5 тонн исходной руды на полигоне ТувИКОПР СО РАН (рис 1,2). Изучение вещественного состава пробы руды из наиболее богатой золотом кварцевой жилы 3 (см. табл. 1) проведено с использованием спектрального, химического, гранулометрического и минералогического методов анализа. Данные свидетельствуют о том, что основную промышленную ценность руды определяет золото, среднее содержание которого в жиле составляет 14,6 г/т. Из других попутных ценных компонентов в руде присутствуют 9,2 г/т серебра и 4,3% меди. Редкие и рассеянные элементы содержатся в количествах, не представляющих промышленный интерес. Содержание серы сульфидной составляет 0,42%. Представленные результаты показывают, что основная масса золота (93,5%) в руде находится в свободной форме; 5,3% золота присутствует в сростках; немногим более 1% золота связано с окислами и сульфидами меди; 0,1% золота заключено в кварце. С целью изучения распределения золота и серебра по классам крупности выполнен ситовой анализ исходной руды с определением содержания названных компонентов в каждом классе. Основная масса золота (99,1%) и серебра (94,6%) сосредоточена в крупных и средних классах, от 0,074 мм

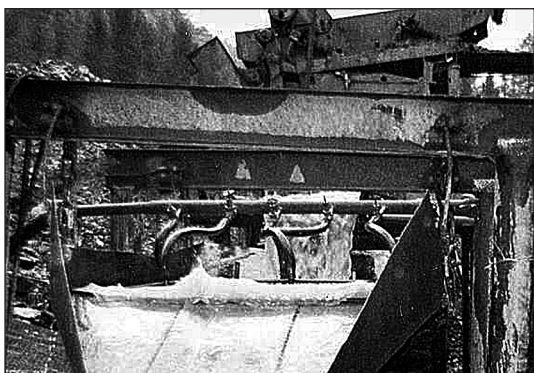
и выше. В классах – 0,074 мм находится около 1,5% золота и 5,4% серебра. По данным полуколичественного минералогического анализа преобладающим минералом в материале технологической пробы является кварц. В нерудной части пробы присутствуют хлорит, серицит, а также кальцит, анкерит, доломит – в единичных зёрнах и в составе немногочисленных сростков. В составе сростков отмечаются также преимущественно кварц, в меньшем количестве сульфиды, малахит, хлорит. Основными рудными минералами являются сульфиды меди – халькозин, халькопирит и другие. Сульфиды в виде очень тонкой редкой вкрапленности наблюдаются в кварце и хлорите.



Рис. 1. Дробильно-сортировочный узел

С целью увеличения кинетики технологического процесса, чтобы максимально извлечь ценные тяжелые компоненты в относительно спокойной взвешенной среде, в компоновку оборудования вклю-

чен механический лотковый шлюз. Он относится к устройствам для выделения в концентрат тонких тяжелых частиц с созданием взвешенной тяжелой среды. Способ и устройство позволяют отобрать тонкие частицы без сдвигивания их основной более подвижной массой, разделяемого материала. Технический результат: достижение достаточной величины ускорения тонких частиц для непрерывного и устойчивого направленного движения их через взвешенную тяжелую фракцию в углублении промывочного лотка.



*Рис. 2. Механически-лотковый шлюз*

Способ включает подготовку исходного материала, содержащего количество глины в процессе классификации и разжижения на сите движением грохочения и водяными форсунками, транспортировку пульпы по платформе, состоящей из каскада камер обогащения. Рабочая поверхность каждой камеры обогащения состоит из плоских поверхностей сибирского лотка, конусной большой поверхности корейского лотка, внутренней поверхности цилиндра, закрепленного на плоском днище и с закрепленным на днище вторым цилиндром с концентричной наружной поверхностью и с рассекателем. Платформа подвергается круговому движению. При попадании в углубление промывочных лотков пульпа подвергается воздействию центробежных сил для прижатия тонкой фракции к коническим подстилающим поверхностям. На разделяемый материал воздействуют

поток воды, подведенным тангенциально в цилиндрической части лотка для раскручивания тяжелой фракции. При проведении технологического режима, исходный материал в виде пульпы поступает на сито вмонтированное в верхней части наклонной платформы и исполняющей функцию грохота, размывается из форсунок подачей воды из магистрали для подачи транспортной воды и нависающих моющих форсунок трубы нисходящего водоорошения. Наклонная платформа имеет подвеску в виде четырех тросов, закрепленных на сварном основании для подвески наклонной платформы лоткового шлюза. Подвеска обеспечивает необходимый наклон плоской платформы. Наклонная платформа имеет коробчатую конструкцию стенки, которые являются отбойниками и поддерживающим элементом для всех узлов. Рабочая поверхность платформы выполнена в виде составных комбинированных лотков, выполняющих роль камер обогащения и установленных на поперечных швеллерах наклонной платформы. Наклонная платформа снабжена инерционным приводом, закрепленным на днище платформы. Привод выполнен в виде дисбаланса, вал которого приводится во вращение от шкива передачи трением. Камера обогащения, в виде составного комбинированного лотка, состоит из четырех плоских поверхностей, образующих углубление между длинной поверхностью, короткой плоской поверхностью и двух боковых поверхностей. С образующими лоток плоскими поверхностями сопряжена коническая поверхность, опирающаяся на внутреннюю цилиндрическую поверхность, внутри которой концентрично расположена наружная цилиндрическая поверхность. Конические и цилиндрические поверхности имеют общую вертикальную ось вращения и плоское днище. В придонную часть цилиндрической части лотка подведен сверху, по ходу движения исходного материала, патрубком подвода раскручивающей воды,

расположенный тангенциально между внутренней цилиндрической поверхностью и наружной цилиндрической поверхностью. Патрубок для сброса концентрата установлен вертикально в днище и расположен перед патрубком для подачи раскручивающей воды. Патрубок для сброса концентрата имеет патрубок подвода воды для создания восходящего потока, расположенный сверху и по ходу. Концентрат поступает через шланг в емкость для сбора концентрата, имеющую патрубок сполоска. Амплитуда и частота колебаний регулируется подбором дисбаланса и числом оборотов электродвигателя. Привод так же может быть выполнен в виде эксцентрикового механизма, установленного неподвижно на основании подвески платформы. Полученный таким образом концентрат сбрасывают через патрубок в днище лотка с подведенным к нему восходящим потоком [4]. Обесшламливания пульпы и концентрации тяжелых фракций проводили на центробежно-вихревом обесшламливателе [5]. Под действием центробежных сил происходит осаждение твердой фазы на конусной поверхности нижней части корпуса сепаратора с непрерывным прохождением к разгрузочному отверстию песковой насадки при постоянной промывке от легкой шламовой фракции жидкой частью пульпы. Часть обезвоженных частичек улавливается на конической неподвижной нижней части корпуса сепаратора для последующего вывода как сгущенного продукта через патрубок с песковой насадкой. Жидкую часть пульпы после циркуляции по стенками чаши сепаратора вытесняют через вихревую переливную воронку со сливной вертикальной трубой по центру за счет принудительной подачи питания и воды с помощью лопаток, закрепленных к внешней стороне чаши сепаратора для раскручивания и проталкивания сверху вниз исходного сырья с образованием вихревого потока пульпы. При этом получают сгущенный продукт в виде мелких и тон-

ких частичек песковой фракции с частичками ценного компонента отмытых от глинистых тонких частичек, содержащихся в исходном сырье [6]. Песковая фракция поступает на центробежно-вихревой концентратор, который относится к области мокрого разделения особо мелких и тонких частичек по плотности. Способ и устройство позволяют эффективно улавливать особо мелкие и дисперсные частички тяжелых минералов и металлов. Технологический эффект заключается в эффективном разделении особо мелких и тонких частичек по плотности, возможность получения концентрата ценных тяжелых компонентов с высоким содержанием золота. Способ включает формирование пульпы оптимальной консистенции и придание движения исходному материалу между внутренней рабочей поверхностью корпуса концентратора в виде закрученного кругооборота сверху вниз под углом конусности, с последующим движением пульпы в восходящем закрученном вихревом потоке между центральной сливной трубой и внутренней рабочей поверхностью чаши концентратора. На вращающейся внутренней поверхности чаши происходит накопление тонких тяжелых частичек, которые с рабочей поверхности корпуса концентратора и с внутренней поверхности чаши непрерывно улавливаются на кольцевом днище концентратора и, по мере накопления, периодически сбрасываются через патрубок в специальный накопитель (сборник). Легкая фракция отводится в расположенную по центру концентратора сливную вертикальную трубу в виде потока пульпы, текущего в направлении, противоположном действию центробежных сил [7-8]. Концентраты с центробежно-вихревых концентраторов поступают для доводки на концентрационные столы. Получены два концентрата – золотая головка (см. рис. 3) и золотомедный концентрат.

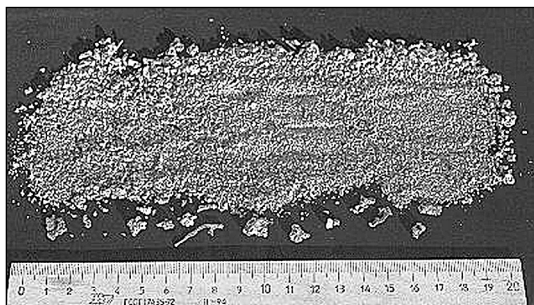


Рис. 3. Золотая головка (шлиховое золото)

### Выводы

1. Кызык-Чадрское месторождение принадлежит к категории крупных слабо эродированных объектов и заслуживает геологического доизучения с проходкой структурных скважин для вскрытия глубинных частей рудоносного штокверка в интервале 400-900 м.

2. Все выявленные участки штокверковой золото-медно-молибден-порфировой минерализации, золотокварцевые жильные поля и линейные тела кузык-чадрского гранит-порфинового комплекса в совокупности образуют единую рудно-магматическую систему.

3. Экспериментальные исследования и полупромышленные испытания технологического оборудования позволили создать эффективную технологическую схему обогащения жильных руд месторождения Кызык-Чадыр и достичь высоких показателей извлечения из кварцево-жильных руд в концентраты золота – 99,2%, серебра – 92% и меди – 80,2%; судя по содержанию ценных компонентов в хвостах гравитации, выщелачивание их экономически нецелесообразно.

4. Полученный золотомедный концентрат относится к категории медных высшей марки КМО (ГОСТ 48-77-74).

5. Целесообразно продолжение экспериментальных исследований по созданию обогатительного оборудования и технологий гравитационного извлечения рудных минералов и высокотемпературного выщелачивания ценных компонентов

из золото-медно-молибден-порфиновых руд штокверкового типа.

*Работа выполнена при финансовой поддержке проекта РФФИ Грант № 06-05-64118-а.*

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рудные формации Тувы/В.В. Зайков, В.И. Лебедев, В.Г. Тюлькин и др. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1981. – 200 с.

2. Рогов Н.В. Структурная упорядоченность в ареалах плутонических комплексов: методика выявления, аспекты использования (на примере Тувы)/отв. ред. Д-р геол. Мин. Наук С.С. Долгушин. – Кызыл: ТувИКОПР СО РАН, 2003. – 146 с.

3. Бухаров Н.С. Анализ и обобщение материалов по золотоносности территории Республики Тыва с составлением Программы геологоразведочных работ на золото на период до 2000 года. Кызыл. 1994.

4. Бурдин Н.В., Лебедев В.И., Чадамба П.В. Механический лотковый шлюз и способ обогащения тяжелых минералов и металлов./Патент РФ № 2147934. М.: Росагентство по патентам и товарным знакам. – Бюл. № 12, 2000. – 14 с.

5. Бурдин Н.В. Способ обесшламливания пульпы и устройство для его осуществления./Патент РФ № 220923. М.: Росагентство по патентам и товарным знакам. – Бюл. № 21, 2003. – 14 с.

6. Бурдин Н.В., Гребенникова В.В., Лебедев В.И., Бурдин В.Н./Аппараты, технологии гравитационного извлечения цветных минералов, металлов и вопросы биоэкологии./Журнал «Цветные металлы» № 3. 2008 г. с. 38-42

7. Бурдин Н.В., Лебедев В.И./Технология гравитационного извлечения мелкого золота/Журнал «Обогащение руд» № 1. 2008 г. стр. 13-15

8. Бурдин Н.В., Лебедев В.И. Способ обогащения тяжелых минералов и металлов и центробежно-вихревой концентратор для его осуществления./Патент РФ № 2210435. М.: Росагентство по патентам и товарным знакам. – Бюл. № 23, 2003. – 10 с.



**GOLD-COPPER-MOLYBDENUM-PORPHYRY ORES**

Burdin N. V., Lebedev V. I. and Lebedev N. I.

*Tuvinian Institute for Exploration of Natural Resources, SB of the RAS, Russia*

The article reveals peculiarities of geologic setting and metallogeny of Eastern Tuva. Within this territory, the promising targets for development of gold-copper-molybdenum-porphyry ore formation are localized. The considered peculiarities permit outlining of a gold-copper-molybdenum province on the area of about 70 thousand square kilometers. The work describes the ore-dressing technology that provides high extraction of gold, silver, and copper (total extraction into concentrates: Au – 99.2%, Ag – 92.0%, Cu – 80.2%). The obtained concentrate is high in copper (50%), gold, and silver, and this permits us to refer it to copper concentrates of the best КМО mark (GOST 48-77-74).