

З. С. ГОЛИКОВА

Балхашская обогатительная фабрика, Балхаш, VAV_bkz@mail.ru

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕРЕРАБОТКИ РУДЫ КОУНРАДСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Известно, что для успешного продвижения вперед, с меньшими потерями, необходимо периодически обращаться к прошлому опыту: достижения дают уверенность в выборе направления, ошибки предостерегают от неудач. Поводом для обращения к успешному прошлому служит очередная 77-я годовщина получения первой черновой меди на Балхашском горно-металлургическом комбинате. При этом уместно вспомнить 23 апреля 1938 г., когда на обогатительной фабрике был получен первый медный концентрат из руды Коунрадского месторождения.

Металлургическое производство меди постоянно находится на лидирующем положении в отрасли. Работа обогатительной фабрики, зависящая от природной минеральной сырьевой базы, пережила подъем в 1988 г., достигнув значительного превышения проектной производительности и самой низкой себестоимости переработки 1 т руды среди подобных производств, и спад вследствие снижения содержания меди в руде. Ныне на фабрике не лучшие времена. Одновременно на 6 секциях перерабатываются руды Коунрадского, Саякского и Шатыркульского месторождений и отвальный шлак металлургического производства.

Для продления деятельности горно-обогательного комплекса требуются:

- программы поставок сырья на фабрику с целью максимально эффективного использования емких по энергии и металлу дробильного и измельчительного переделов, распределения руды по секциям на флотацию по видам с меньшим смешением;
- технологическое картирование месторождения с целью оптимизации отгрузки руды на фабрику;

- программы управления процессом по минералогическому составу, поскольку руды неоднородны по вмещающим породам;

- новые эффективные флотационные реагенты, которым на зарубежных фабриках уделяют особое внимание;

- обновление транспортной системы и оборудования;

- повышение комплексности использования сырья.

Для осуществления перечисленных мероприятий нужны деньги, но чтобы их иметь, их нужно сначала заработать. Заработать средства можно, используя опыт прошлых лет переработки наиболее проблемной в настоящее время коунрадской руды.

Изначально, на уровне проектирования, по запасам коунрадские сульфидные и окисленные руды при соотношении 90 и 10 %, оценивались с содержанием меди 1,11 и 1,29 % соответственно. По вмещающим породам руды неоднородны. Руды с содержанием 0,3-0,5 % в подсчет запасов не входили. По мере выработки относительно богатой руды, снижения бортового содержания при второй реконструкции месторождения и увеличения доли шламистых руд было выделено до 7 сортов по химическому, рациональному и минералогическому составу.

В комплексе проводились следующие работы: на руднике – технологическое картирование месторождения при эксплуатационной геологической разведке на прогнозирование технологических показателей фабрики на месяц, квартал и год, селективная выемка и отгрузка руды; на фабрике – переработка рудной массы на определенных секциях по разработанным инженерами-исследователями и отраженным в режимных

картах режимам измельчения и флотации. Выделение попутно извлеченного в медно-молибденовый концентрат ренийсодержащего молибденита в селективном флотационном цикле и разделение его в гидрометаллургическом переделе на 2 вида товарной продукции: молибдат кальция и перренат аммония – повышало выручку и снижало себестоимость переработки руды.

В связи с завершением отработки Коунрадского месторождения, предусмотренного второй реконструкцией, и намечаемой третьей реконструкцией с целью добычи балансовых руд, оставшихся за пределами проектного контура, а также забалансовых руд, непосредственно примыкающих к промышленному рудному контуру, были проведены исследования обогатимости 11 проб руды, отобранных в различных перспективных участках. Работа проведена по программе, согласованной со специалистами курирующего от МЦМ института "Гинцветмет".

Флотационные опыты на пробах руды проведены при расходе реагентов для переработки ря-

довой сульфидной руды: в рудное измельчение известь – 500 г/т, в основную флотацию сернистый натрий – 80 г/т, ксантогенат – 20 г/т, смесь Т-80 и керосина в соотношении 5:1-120 г/т. В доизмельчение концентрата первой перечистки известь – 3 кг/т и керосин – 60 г/т черного концентрата. Во вторую перечистку жидкое стекло – 300 г/т, медный купорос – 250 г/т и в третью перечистку известь - 1 кг/т, медный купорос - 100 г/т и керосин - 40 г/т питания соответствующих операций. Цель опытов - определить качество концентрата и потери меди в основной флотации и перечистках, данные приведены в таблице 1.

При условии, что пробы представляют равные объемы, определены среднеарифметические показатели. Из руды, содержащей 0,22 % меди, в концентрат третьей перечистки с содержанием меди 8,93 % извлечено 63,83 % меди (таблица 2).

Результаты флотации молибдена приведены в таблице 3.

Таблица 1 – Результаты флотационных опытов в открытом цикле по схеме с двумя перечистками и доизмельчением концентрата первой перечистки*

Участок	Продукт	Выход,	Содержание		Извлечение	
			Си, %	Мо %	Си, %	Мо, %
1	2	3	4	5	6	7
СВ-1	К-т 2 пер.	0,84	10,67	0,125	46,77	38,46
	Хв. 2 пер.	1,40	0,16	0,0024	1,15	1,10
	Хв. 1 пер.	4,51	0,48	0,016	11,26	26,37
	Хв. осн. фл.	93,25	0,084	0,001	40,82	34,07
	руда	100	0,19	0,0027	100	100
СВ-2	К-т 2 пер.	1,87	3,11	0,121	33,28	58,76
	Хв. 2 пер.	0,68	0,16	0,0024	0,63	0,52
	Хв. 1 пер.	3,99	0,32	0,016	7,32	16,49
	Хв. осн. фл.	93,46	0,11	0,001	58,77	24,23
	руда	100	0,17	0,0039	100	100
В-1	К-т 2 пер.	2,66	5,92	0,038	78,13	57,97
	Хв. 2 пер	2,51	0,12	0,0096	1,49	7,64
	Хв. 1 пер.	8,02	0,08	0,0026	3,17	6,69
	Хв. осн. фл.	86,81	0,04	0,001	17,21	27,70
	Руда	100	0,20	0,0031	100	100
В-2	К-т 2 пер	2,22	9,88	0,115	69,43	68,55
	Хв. 2 пер	0,28	0,23	0,0062	0,19	0,54
	Хв. 1 пер	3,76	0,26	0,0056	3,10	5,65
	Хв. осн. фл.	93,74	0,092	0,001	27,28	25,26
	руда	100	0,32	0,0037	100	100
В-3	К-т 2 пер	3,43	4,65	0,178	66,72	63,47
	Хв. 2 пер	2,56	1,38	0,093	14,74	24,12
	Хв. 1 пер	4,09	0,23	0,0108	3,92	4,44
	Хв. осн. фл.	89,99	0,039	0,001	14,62	8,97
	руда	100	0,24	0,0099	100	100

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5	6	7
В-4	К-т 2 пер	2,45	6,30	0,284	70,99	68,11
	Хв. 2 пер	0,97	1,13	0,084	5,61	8,12
	Хв. 1 пер	6,54	0,11	0,0052	3,31	3,37
	Хв. осн. фл.	90,04	0,05	0,0022	20,69	19,80
	руда	100	0,22	0,0101	100	100
3-1	К-т 2 пер	4,17	2,64	0,052	55,41	31,86
	Хв. 2 пер	2,65	1,88	0,072	25,06	28,05
	Хв. 1 пер	5,05	0,07	0,0052	1,76	3,12
	Хв. осн. фл.	88,13	0,04	0,0028	17,77	38,27
	руда	100	0,20	0,0068	100	100
3-2	К-т 2 пер	1,98	5,29	0,236	47,16	58,23
	Хв. 2 пер	1,30	0,75	0,0496	4,41	7,98
	Хв. 1 пер	5,47	0,13	0,0128	2,20	8,73
	Хв. осн. фл.	91,25	0,11	0,0022	45,23	25,06
	руда	100	0,22	0,0080	100	100
3-3	К-т 2 пер	3,33	3,28	0,125	66,32	71,93
	Хв. 2пер	1,57	0,40	0,03	3,83	8,15
	Хв. 1 пер	5,87	0,071	0,0044	2,55	4,50
	Хв. осн. фл.	89,23	0,050	0,001	27,10	15,42
	руда	100	0,16	0,0053	100	100
3-4	К-т 2 пер	3,62	4,33	0,113	69,48	71,08
	Хв. 2 пер	1,83	0,28	0,03	2,35	9,88
	Хв. 1 пер	5,36	0,72	0,0036	17,09	3,35
	Хв. осн. фл.	89,14	0,028	0,001	11,07	15,69
	руда	100	0,23	0,0057	100	100
3-5	К-т 2 пер	3,84	3,87	0,046	72,50	57,15
	Хв. 2 пер	2,87	0,52	0,0108	7,26	10,06
	Хв. 1 пер	6,97	0,10	0,0022	3,42	4,87
	Хв. осн. фл.	86,32	0,04	0,001	16,82	27,92
	руда	100	0,21	0,0031	100	100

СВ – северо-восточное направление, В – восточное направление, З – западное направление.

Таблица 2 – Обогащаемость бедной руды Коунрадского месторождения по операциям флотации

Участок Продукт		Содержание меди, %											Средне- арифмети- ческое, %
		СВ 1	СВ 2	В-1	В-2	В-3	В-4	3-1	3-2	3-3	3-4	3-5	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Основная флотация	A	0,23	0,18	0,21	0,33	0,24	0,23	0,21	0,22	0,15	0,22	0,22	0,22
	B ₀	1,08	1,10	1,27	3,67	2,02	1,73	1,37	1,35	1,11	1,85	1,25	1,67
	A/B ₀	7,3	6,1	6,0	11,1	8,4	7,5	6,5	6,3	7,4	8,4	5,7	7,3
	E	59,18	41,22	82,79	72,72	85,38	79,31	82,23	77,12	72,90	88,92	83,18	74,99
Первая перечистка	B ₁	4,10	2,33	3,10	8,80	3,24	4,83	2,34	3,62	2,30	2,95	2,44	3,65
	B ₁ /A	17,8	12,9	14,8	26,7	13,5	21,0	11,1	15,9	15,7	13,4	11,1	15,8
	E ₁	47,92	33,91	79,62	69,62	81,46	76,0	80,77	72,70	70,35	71,83	79,76	69,45
	Π ₁	5,63	3,65	1,53	1,55	1,96	1,65	0,88	2,21	1,28	8,54	1,71	2,78
	E ₁ +Π ₁	58,55	37,56	81,20	71,17	83,42	77,65	81,35	74,91	71,62	80,37	81,47	72,21
Вторая перечистка	B ₂	10,67	3,11	5,92	9,88	4,60	6,30	2,64	4,77	3,28	4,33	3,87	5,40
	B ₂ /A	46,4	17,3	28,2	29,9	19,2	27,4	12,6	24,0	21,9	19,7	17,6	24,0
	E ₂	46,77	33,23	78,13	69,43	66,72	70,99	55,41	65,44	66,52	69,43	72,50	63,15
	Π ₂	6,20	3,97	2,33	1,04	9,33	4,16	13,41	5,89	3,19	9,72	5,34	5,92
	E ₂ +Π ₂	52,97	37,25	80,48	71,07	76,05	75,15	68,82	71,33	69,71	79,20	77,84	69,05

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Третья перечистка	B ₃	16,11	5,02	10,17	14,61	6,87				4,86	6,32	7,81	8,93
	B ₃ /A	70,0	27,9	48,4	44,0	28,6				32,4	28,7	35,5	33,94
	E ₃	44,53	32,13	65,54	66,11	50,10				47,81	63,24	65,48	54,38
	Π ₃	7,32	4,54	8,62	3,30	17,59				12,54	12,84	8,85	9,45
	E ₃ +Π ₃	51,85	36,67	74,16	69,42	67,78				60,35	76,00	74,33	63,83

A – содержание меди в руде, %; B – содержание меди в концентрате основной флотации, первой, второй и третьей перечисток соответственно, %; Π – циркуляция меди в перечистках первой, второй и третьей соответственно, равная половине извлечения в этих операциях, %; E – извлечение меди в перечистках первой, второй и третьей, соответственно, %; E_{1,2,3} + Π_{1,2,3} – извлечение меди в перечистках с учетом циркуляции, %.

Таблица 3 – Извлечение молибдена по операциям флотации из бедной по меди коунрадской руды

Участок	Содержание Mo в руде, %	Концентрат				Концентрат			
		основной флотации		первой перечистки		второй перечистки		третьей перечистки	
		содер- жание, %	извле- чение, %	содер- жание, %	извле- чение, %	содер- жание, %	извле- чение, %	содер- жание, %	извле- чение, %
Св-1	0,0027	0,027	65,93	0,048	39,56	0,125	38,46	0,172	33,33
Св-2	0,0039	0,045	75,77	0,090	59,28	0,122	58,76	0,172	49,74
В-1	0,0031	0,017	72,20	0,040	65,51	0,068	57,87	0,088	36,21
В-2	0,0037	0,044	74,74	0,103	69,09	0,115	68,55	0,148	57,26
В-3	0,0099	0,089	91,03	0,143	86,59	0,180	62,47	0,224	39,56
В-4	0,0100	0,082	80,40	0,228	77,03	0,284	68,91		
3-1	0,0068	0,037	63,73	0,060	59,91	0,052	31,86		
3-2	0,0080	0,069	74,94	0,161	66,21	0,236	58,23		
3-3	0,0058	0,045	84,58	0,094	80,08	0,125	71,93	0,134	37,64
3-4	0,0056	0,044	84,31	0,083	90,96	0,113	71,08	0,120	47,80
3-5	0,0031	0,016	72,08	0,081	67,21	0,046	57,15	0,067	37,99
Ср.ар.	0,0057	0,047	76,33	0,098	68,31	0,133	58,66	0,141	42,45

В коллективный концентрат третьей перечистки рудного цикла извлечено 42,45 % молибдена при плане производства 36 % из руды, содержащей 0,0057 % молибдена. Содержание молибдена в медно-молибденовом концентрате для гидрометаллургического производства составило 0,141 %. Подтвердилось отсутствие связи содержаний меди и молибдена в руде и извлечений в коллективном цикле.

В итоге результаты полупромышленных испытаний на опытной фабрике пробы забалансовой руды по схеме в замкнутом цикле, сохранение производства получения редких металлов – молибдата кальция и перрената аммония – вывели месторождение на уровень достаточной рентабельности после третьей реконструкции [1].

Настоящие запасы по проекту третьей реконструкции месторождения, в недрах которого 4 года назад (2011 г.) оставалось 548,5 тыс. т меди, составлены на руды с минимальным со-

держанием меди 0,2 %. Разработка Коунрадского месторождения медно-молибденовой руды при таком низком бортовом содержании меди только на извлечение меди ведется неэффективно. Для повышения рентабельности необходимо переводить в товар попутно извлекаемые с медью не только серебро, селен, теллур, но и молибден. Перечисленные компоненты содержатся не только в коунрадской руде. Они использованы при расчете экономических обоснований разработки действующих Саякского, Шатыркульского, и планируемых к разработке Бозшакольского и Актогайского месторождений

Серебро, селен и теллур проявляются количественно в процессе электролиза при получении катодной меди, их стоимость снимается с себестоимости медного концентрата. Молибден уходит в окружающую среду и отвальные металлургические шлаки в окисленной форме, не способны к извлечению флотацией.

Содержание молибдена в рудах чаще не связано тесно с содержанием меди и составляет минимально 0,003-0,005 %. В руде молибденит более ассоциирован с кремнеземом. Технология извлечения молибдена на протяжении более 50 лет велась по схеме: флотационное разделение медно-молибденового концентрата с получением молибденового полупродукта, обжиг, выщелачивание, осаждение молибдата кальция, промывка, сушка и упаковка товарной продукции. Попутно в гидрометаллургическом переделе извлекался рений в форме перрената аммония. Первая технология и аппаратное оформление гидрометаллургического производства были разработаны специалистами Ленинградского горного института. Совершенствовались производство местные специалисты.

Изучение зарубежного опыта показывает, что горно-обогатительные предприятия обязательно помимо основных компонентов извлекают редкие элементы, доступ к которым раскрывается в процессе подготовки к флотации основных.

В 2006-2007 гг. на обогатительной фабрике была предпринята попытка восстановить получение молибденсодержащей продукции из набора руд, перерабатываемых в настоящее время, однако сбыта она не получила из-за неудовлетворительного качества (таблица 4).

Содержание молибдена в полупродуктах 13,99-14,35 % получено при значительном давлении флотации минералов меди и железа. Их содержание составило, соответственно, 2,16-3,70 % и 3,64-4,74 %. Основное назначение операции разделения меди и молибдена выполняется стабильно. Требовались доработка аппаратного оформления, уточнение технологических параметров, аналитическое определение причин невоспроизведения ранее работающей технологии и наличия темной взвеси в растворах при определении содержания молибдена химическим методом, повышение качества флотационных реагентов.

Об использовании меди известно широко, о молибдене – меньше. Около 80 % всего добываемого молибдена потребляется при производстве специальных сортов стали. Он входит в состав бронированных нержавеющей сталей, его введение способствует увеличению жаропрочности.

Менее известно о применении молибдена для медицины. Молибден имеет несколько изотопов. Молибден-99, живущий 60 сут., используется для получения технеция, непосредственно применяемого при лечении онкологических заболеваний. Благодаря уникальным свойствам технеция его можно доставлять практически в любой орган человека. По данным [2], рынок потребления Мо-99 в разных странах составляет,

Таблица 4 – Химический состав продуктов промышленной селективной флотации молибдена*

Продукт	Содержание элементов, %											
	Си	As	CaO	Pb	K	Cr	Co	Se	Sr	Zn	Ba	W
Си-к-т 07.2006.	16,56	0,23	1,94	0,34	0,78	0,01	0,08	0,004	0,00	0,00	0,00	0,01
Мо пр.1 08.2006.	2,16	0,022	1,68	0,05	0,48	0,02	0,02	0,004	0,00	0,00	0,08	0,06
Мо пр.2 09.2006.	3,70	0,022	1,81	0,07	1,23	0,02	0,02	0,005	0,00	0,00	0,38	0,05
Продукт	Содержание элементов, %											
	Fe	Mo	Zr	Bi	Ti	Mn	Ni	Rb	Y	Nb	Ta	Fe
Си -к-т 07.2006.	29,0	0,043	0,58	0,006	0,16	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,007	29,0
Мо пр.1 08.2006.	3,64	13,99	0,07	0,016	0,16	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,041	3,64
Мо пр.2 09.2006.	4,74	14,35	0,10	0,016	0,10	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,042	4,74

*Пробы месячные, прибор РПП-21Т - рентген радиометрический лабораторный.

%: США – 46, ЕС – 22, Япония – 14, Канада – 4, Китай – 2, Россия – 1 и другие – 10. В последние годы ГК "Росатом" реализует проект промышленного производства короткоживущих изотопов для создания фармацевтических препаратов, в первую очередь Мо-99. Новое производство в НИИ атомных реакторов позволит России занять примерно 20 % мирового рынка производства медицинского молибдена [3].

В связи с ростом производства и потребления молибдена в мировой практике целесообразно вернуться к рассмотрению восстановления технологии получения молибденового полупродукта на Балхашской фабрике наиболее эффективного периода, 1968-1970 гг.

Для начала целесообразно:

- провести переговоры с предприятиями Степногорский ГХК в РК, "Росатом" и др., перерабатывающими молибденовый полупродукт (по данным 2005-2007 гг.), содержащий тяжелые элементы, с настоятельным предложением проанализировать и испытать балхашский полупродукт в качестве потенциального для них сырья;

- наработать лабораторную партию полупродукта и провести его полный анализ, в том числе определить содержание тяжелых элементов, вносимых штыркульской рудой, с учетом требований по результатам переговоров.

При положительном результате появится возможность решить следующие проблемы:

- повысить качество молибденового полупродукта, его сбыт и доходность;

- повысить рентабельность разработки Коунрадского и других месторождений, а также переработки их руд;

- увеличить экспортную составляющую в товарообороте;

- повысить казахстанское содержание в выпускаемой продукции;

- приобрести реагенты для руд с высоким содержанием порообразующих шламов.

Работа будет полезна при промышленном освоении Бозшакольского и Актогайского месторождений.

ЛИТЕРАТУРА

1 Голикова З.С., Близняков Ю.И., Дубровина Н.М., Симкин Э.А., Майоров А.Д., Плакса Н.Е. К вопросу о возможности переработки бедных руд Коунрадского месторождения / Отчет НИР ЦЛК БГМК. № 1945. утв.17.01.1986.

2 Антон Хлопков, Майлз Помпер, Валерия Чекина. Прекращение использования ВОУ в производстве медицинских изотопов: возможности для сотрудничества России и США. Центр энергетики и безопасности. [Электрон. ресурс] – URL: http://ceness-russia.org/data/doc/14-02-24 HEU_Mo-99 ceness-russia.org.lfnf. (дата обращения 24.02.2014).

3 Попова Н. Лекарство из ядерного реактора. // Ежедневник РФ "Аргументы недели". - 22.09.2011. - № 37(278) - С. 6.

REFERENCES

1 Golikova Z.S., Bliznyakov Yu.I., Dubrovina N.M., Simkin Eh.A., Mayorov AD., Plaksa N.E. K *voprosu o vozmozhnosti pererabotki bednykh rud Kounradskogo mestorozhdeniya* (On question about possibility processing base ore of Kounrad deposit). Otchet NIR TsLK BGMK. № 1945. **17.01.1986.** (in Russ.).

2 Anton Hklopkov, Majlz Pomper, Valeriya Chekina. *Prekrashchenie ispol'zovaniya VOU v proizvodstve meditsinskikh izotopov: vozmozhnosti dlya sotrudnichestva Rossii i USA. Centre ehnergetiki i bezopasnosti.* (Stopping use VOU in production of medical isotope: possibility for collaboration of Russia and the USA. Centre of energy and safety) [Ehlektron. resurs] - URL: http://ceness-russia.org/data/doc/14-02-24 HEU_Mo-99 ceness-russia.org.lfnf. **24.02.2014.** (in Russ.).

3 Popova N. *Lekarstvo iz yadernogo reaktora.* (The medicine from a nuclear reactor). Yezhenedel'nik RF "Argumenty nedeli" = Week arguments. **22.09.2011.** № 37 (278) 6. (in Russ.).

Поступила 18.02.2015