© В.П. Мязин, Е.Н. Сергеенко, 2008

УДК 622.7

В.П. Мязин, Е.Н. Сергеенко

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ ПЕРЕРАБОТКИ СЛОЖНЫХ ПО СОСТАВУ СУРЬМЯНЫХ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩИХ РУД В РОССИИ И ЗА РУБЕЖОМ

Семинар № 22

Сурьма - один из наиболее востребованных «малых металлов». Обычно выполняет функцию модификатора, придающего специальные свойства сплавам цветных металлов, стеклам, эмалям, полимерным материалам, резинам, краскам, адгезивам и т.д. В номенклатуру сурьмасодержащих продуктов изделий, выпускаемых отечественными предприятиями, входят:

- сплавы аккумуляторные, в т.ч. спецаккумуляторы и элементы для мобильных средств связи, антифрикционные, кабельные припои и др;
- пластикаты и краски пониженной горючести;
- резино-тканевые ленты трудновоспламеняющиеся для горнодобывающей промышленности и др.

В настоящее время мировое потребление сурьмы составляет более 120 тыс. т в год. Основные потребители: США 43-45 тыс/год, Япония 16-17 тыс/год, Китай 15-16 тыс. т/год, Западная Европа - Франция, Великобритания, Германия по несколько тысяч тонн в год. Россия потребляла (в 2001 году) около 4,2 тыс. т сурьмы [1].

При современном состоянии минерально-сырьевой базы реальная обеспеченность запасами основного добывающего предприятия страны при прогнозируемом повышении потребления составит менее 15 лет, что сделает актуальными поиск и оценку новых объектов и перспективных площадей, привлечение активных, но не используемых в настоящее время балансовых запасов, более полную реализацию вторичного потенциала, а также освоение имеющихся ресурсов техногенного сурьмяного сырья.

Краткая историческая справка

В дореволюционной России добыча сурьмы не производилась. Ежегодный импорт металла достигал 1 тыс. т. В годы 1-й мировой войны 1914-1918 в Россию было ввезено около 25 тыс. т сурьмы, использовавшейся в военных целях. С 1925 в стране развернулись поисковые работы на сурьму и была начата разведка Кадамджайского месторождения, известного с 1914. В 1926–1941 были открыты и разведаны Хайдарканское и Раздольнинское месторождения, позже была начата разведка Терексайского, Джижикрутского месторождений. На разведуемых месторож-дениях производился попутно отбор и сортировка штуфных руд, которые явились исходным сырьём для получения сурьмяной продукции.

В бывшем СССР было выделено 10 сурьмяно-рудных провинций, но основные разведанные запасы приходятся на Среднеазиатскую и Верхояно-Колымскую. Минерально-сырьевую базу

сурьмяной промышленности определяют месторождения джаспероидного (Кадамджайское, Терексайское, Джижикрутское и др.) и жильного кварц-антимонитового типов (Раздольнинское, Сарылахское, Сентачанское и др.). Горнодобывающие предприятия – Анзобский ГОК, Кадамджайский сурьмяный комбинат, Сарылахский рудник, Хайдарканский ртутный комбинат и др.

Сурьмяная промышленность развита и в США, Китае и Югославии. В Китае разрабатывается крупнейшее в мире месторождение СИГУАНЬШАНЬ. В Югославии сурьмяное объединение «Заяча», является крупнейшим производителем сурьмы в Европе, имеет законченный цикл с горным и обогатительным, производствами и металлургическим переделом.

Сурьмяные руды в зависимости от их минерального состава разделяют на собственно сурьмяные, содержащие в основном антимонит и оксиды сурьмы, и комплексные. Из последних в большой степени выделяют: сурьмяно-ртутные, сурьмяно-ртутно-флюоритовые, сурьмяно-золотые, сурьмяно-вольфрамитовые, сурьмяно-свин-цовые и сурьмяно-мышьяковые.

До настоящего времени обогащение сульфидно-окисленных и особенно сильно окисленных сурьмяных руд является нерешенной проблемой, поэтому основное количество сурьмы добывается из сульфидных сурьмяных руд, которые имеют главное промышленное значение. Причем большинство крупных месторождений сурьмы остались в странах СНГ. В России эксплуатируется единственное месторождение Сарылахское (Якутия), которое сейчас разрабатывается.

Представляет практический интерес современная практика обогащения комплексных золото-сурьмяных руд, содержащих в качестве ценных компонентов драгоценные металлы – золото и серебро. При переработке некоторых из этих руд драгоценные металлы являются в ценностном отношении основными, а сурьмяные концентраты – побочными продуктами. В ближайшем будущем прослеживается тенденция обогащения сурьмяных руд с более низким содержанием [2].

Сравнительная характеристика месторождений и технологических схем переработки сурьмянных и золото-сурьмянных руд в России и за рубежом приведена в таблице.

По данным выполненного сравнительного анализа установлено, что выбор метода обогащения сурьмяных руд зависит не только от размеров вкрапленности, но и от содержания сурьмы в руде и степени ее окисленности. Богатые руды предпочтительнее перерабатывать по гравитационным или комбинированным гравитационно-флотационным схемам, а рядовые и бедные – методом флотации.

В основном сурьму и ее соединения получают преимущественно флотацией, включающей коллективную флотацию сульфидов при грубом помоле руды (55-65 % класса-0,074 мм) и, нередко, гравитацией по различным схемам и реагентным режимам. Гравитационный метод обогащения получил применение для сурьмо-золотосодержащих руд с равномерной вкрапленностью, крупность зерен сурьмяных минералов в которых составляет не менее 2-3 мм. В этом случае по гравитационной схеме могут быть выделены 30 % концентраты при извлечении до 70 %. При более тонкой вкрапленности хвосты и промпродукты гравитационного обогащения доизмельчаются и направляются на флотацию. Эффективным способом обогащения сурьмяных руд является обогащение в тяжелых суспензиях.

Характеристика месторождений и технологических схем переработки сурьмо-золотосодержащих руд в России и за рубежом

Название месторождения	Вещественный состав минерального сырья	Способы переработки данного руд
Кадамджайское	Собственно сурьмяные руды, тонковкрапленные **Основные минералы:** Антимонит Sb_2S_3-1,3%, продукты его окисления. **Пустая порода:** Углистые сланцы, кварц, графит, пирит	Флотационный метод обогащения. Концентрат содержит 19-30 %
Терексайское	**Основные минералы:** Антимонит Sb_2S_3- 3,4% Валентинит Sb_2O_3 Кермезит Sb_2S_2O Сервантит Sb_2O_4, цинк, серебро, золото 2 г/т тонковкрапленное связано с пиритом, кварцем **Пустая порода:** Кварц, кальцит, барит	Комбинированная гравитационно-флотационная схема обогащения. Коллективная флотация с после-дующей селекцией и выщелачиванием сурьмы. Концентраты содержат: гравитационный 30-40% сурьмы и 7-10 г/т золота, коллективный флота-ционный 12-15% сурьмы и 30-35 г/т золота
Сарылахское	**Основные минералы:** Антимонит Sb_2S_3 13-16%, са-мородное золото и связанное с Sb_2S_3, пиритом, арсенопиритом, сфалеритом, содержание золота 4,7%. **Пустая порода:** Кварц, пирит.	Гравитационно-флотационная схема обогащения. Получение Au из гравитаииионного концентрата, с последующей перера-боткой по гидрометаллургической схеме и золото-сурьмяного флотационного концентрата. Концентраты содержат 60 % сурьмы и 13 % золота.
Раздольнинское	**Основные минералы:** Антимонит Sb_2S_3-1%, Бертьерит FeS- Sb_2S_3, арсенопирит, пирит, халькопирит. **Пустая порода:** Кварц, кальцит, серецит.	Флотационный метод обогащения. Концентрат содержит 21 %.
Брасина (Югославия)	Руда сильно окисленная. **Основные минералы:** Антимонит Sb_2S_3-3,5% Валентинит Sb_2O_3 Сенармонтит Sb_2O_3, арсенопирит, сфалерит.	Гравитационно-флотационная схема обогащения. Обогащение с приме-нением тяжелых суспензий. Концен-трат содержит 15-20%
Йеллоу Пайн (США)	Комплексные руды, **Основные минералы:** Антимонит Sb_2S_3-1%, Au 2,6 г/т связанно с Sb_2S_3, пиритом, арсенопиритом, щеелит, серебро	Флотационный метод обогащения по коллективно-селективной схеме с последующей пирометаллургией. Концентраты содержат 46% сурьмы и 17% золота
Консолидейтед Мерчисон (ЮАР)	**Основные минералы:** Собственно сурьмяные руды и кварцево-сульфидные золотосо-держащие руды, Антимонит Sb_2S_3, Au связанно пиритом, арсенопиритом	Флотационный метод обогащения селективная схема флотации. Концентраты содержат 60-62% сурьмы и 17-20 г/т золота [3].

Комбинированные гравитационно-флотационные схемы находят применение для обогащения руд с неравномерной вкрапленностью зерен минералов, когда имеется возможность при сравнительно крупном помоле выделить готовый гравитационный концентрат, а из хвостов гравитации после их доизмельчения флотацией – флотационный концентрат.

В зависимости от соотношения крупной и тонкой вкрапленности сурьмяных минералов извлечение сурьмы в гравитационном и флотационном цикле меняется. При переработке крупновкрапленных руд извлечение в гравитационном цикле составляет 57-60 %, во флотационном – 8-12 %, при переработке тонковкрапленных руд, а также снижениями общего содержания сурьмы в руде извлечение в цикле флотации возрастает до 40-50 % с соответствующим уменьшением извлечения сурьмы в гравитационном цикле.

Извлечение сурьмы при гидрометаллургической переработке антимонита достигает 94-98 %, низших окислов – 78-82 %, а высших – только 20 %. В процессе гидрометаллургического выщелачивания концентратов сурьмы (представленной антимонитом), почти полностью переходит в раствор. Сурьма представленная, главным образом высшими окислами, теряется с кеками. Поэтому для переработки окисленных сурьмяных концентратов применяют комбинированный способ или способ восстановительной плавки.

Анализ технологий переработки сложных по составу сурьмо-золотосодержащих руд в нашей стране и за рубежом, перерабатывающих сурьмяные руды, показал трудность получения сурьмяных концентратов, удовлетворяющих требованиям металлургии и позволяет наметить направления усовершенствования технологии обогащения сурьмяных и комплексных сурьмяных руд.

Для флотационного процесса необходимо применение сочетаний собирателей, что является средством интенсификации улучшения флотациио-кисленных минералов сурьмы из сульфидно-окисленных сурьмяных руд, поэтому должно быть проведено углубленное исследование с изысканием эффективных собирателей для успешной флотации окисленных сурьмяных минералов [2].

Повышение эффективности переработки комплексных сурьмяных руд, за счет максимального извлечения ценных компонентов на всех переделах его переработки. В первую очередь за счет усовершенствования системы рудоподготовки минерального сырья.

Перспективным для обогащения золото-сурьмянистых руд является применение радиометрического метода обогащения. Из основных разделительных факторов можно выделить высокую энергию характеристического излучения (27 кэВ) сурьмы (как элемента и ее основного минерала антимонита) при облучении ее рентгеновскими лучами.

При переработке комплексных сурьмяных руд, характеризующихся

переменным соотношением сульфидов цветных металлов, необходимо предусматривать применение комбинированных методов по разветвленным схемам обогащения (малоотходных экологически чистых технологий).

В XXI веке в России намечаются перспективы создания собственной сурьмяной базы в Восточном Забайкалье. Учитывая высокие реальные и потенциальные перспективы, Читинская область может стать одной из основных сурьмяных провинций России. Положи-

тельными чертами восточно-забайкальской сурьмяной провинции являются её расположение в освоенных горнодобывающих районах области и повышенная золотоносность сурьмяных руд, из которых возможно попутное извлечение золота, что значительно увеличивает ее ресурсы на территории округа.

В настоящее время на территории Восточного Забайкалья насчитывается более 250 пунктов сурьмяной минерализации различной интенсивности. Наибольший практический интерес на настоящий момент представляет Тыргетуй-Жипкошинская зона субвулканического кварц-антимонитово-го золотосодержащего оруденения. Оруденение представлено богатыми рудами жильного типа (до 20-50 %) сурьмы и рядовыми гнездово- и прожилково-вкрапленными рудами (до 5-12 % сурьмы). Общие прогнозные ресурсы территории округа в настоя-щее время оцениваются (по категории P_3) в 66,5 тыс. т сурьмы. Эти ресурсы рассматриваются как минимальные и ориентированные, в основном, на богатые руды со средним содержанием сурьмы не менее 4,5 % (от 4,5 до 27 %).

Учитывая дефицит активных запасов сурьмы в стране и их расположение в крайне неблагоприятных регионах (Якутия), в Восточном Забайкалье может быть создана, весьма перспективная сырьевая база, способная обеспечить сурьмой не только потребности России, но поставлять ее на мировой рынок.

Вопрос о прогнозной оценке Восточного Забайкалья на сурьму и выделении особо перспективных участков ставился давно, но специализированных работ на сурьму практически не проводилось, за исключением региональных исследований.

В настоящее время на кафедре «Обогащения полезных ископаемых и вторичного сырья» ЧитГУ развернута работа по исследованию на обогатимость комплексных сурьмяных руд одного из месторождений Читинской области. Изучаются возможности переработки руд этого месторождения и получения собственно металлической сурьмы и её соединений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ресурсы* Забайкалья № 2 (6), Чита 2002.

2. *Соложенкин П.М.* Обогащение сурьмяных и ртутных руд.- Москва, 1969.

3. *Лодейщиков В.В.* Извлечение золота из упорных руд и концентратов / Технология переработки золото-сурьмянистых руд и концентратов./ - Москва: Недра, 1968. ГИАБ

Коротко об авторах

Мязин В.П. – доктор технических наук, профессор,
Сергеенко Е.Н. – аспирант,
Читинский государственный университет.

Доклад рекомендован к опубликованию семинаром № 22 симпозиума «Неделя горняка-2008».
Рецензент д-р техн. наук, проф. *В.М. Авдохин*