



ПЕРЕРАБОТКА ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩИХ ФЛОТОКОНЦЕНТРАТОВ МЕТОДОМ ТЕРМОПАРООБРАБОТКИ

Абдурахмонов Сойиб - д.т.н., проф., Алмалыкский филиал Ташкентского государственного технического университета, olmos.boss@mail.ru
Холиқулов Дониёр Бахтиёрович - д.т.н., доц. Алмалыкский филиал Ташкентского государственного технического университета, doniyor_xb@mail.ru
Алматова Ирода Уразалиевна - магистрант Алмалыкский филиал Ташкентского государственного технического университета

Аннотация. В работе анализируются современные способы переработки золотосодержащих флотоконцентратов. Приводятся результаты лабораторных исследований по усовершенствованию подготовки флотоконцентратов к цианированию методом термопарообработки. Регулируя температуру процесса термопарообработки сульфидного сырья, возможно полное или, при необходимости, частичное разложение сложных минералов и очистка сырья от мышьяка.

Ключевые слова: технология, переработка, термопарообработка, флотоконцентрат, температура, минералы, золото, разложения, степень дисульфуризации.

ТАРКИБИДА ОЛТИН БЎЛГАН ФЛОТОКОНЦЕНТРАТЛАРНИ СУВ БУҒИ ИШТИРОКИДА ТЕРМИК ИШЛОВ БЕРИШ УСУЛИ БИЛАН ҚАЙТА ИШЛАШ

Абдурахмонов Сойиб - т.ф.д., проф. Тошкент давлат техника университети Олмалик филиали, olmos.boss@mail.ru
Холиқулов Дониёр Бахтиёрович - т.ф.д., доц. Тошкент давлат техника университети Олмалик филиали, doniyor_xb@mail.ru
Алматова Ирода Уразалиевна - Тошкент давлат техника университети Олмалик филиали магистранти

Аннотация. Мақолада таркибида олтин бўлган флотоконцентратларни қайта ишлашнинг замонавий усуллари таҳлил қилинган. Сув буғи иштирокида термик ишлов бериш усули билан флотоконцентратларни цианланишга тайёрлашни такомиллаштириш бўйича лаборатория тадқиқотлари натижалари келтирилган. Сульфидли хом ашёни сув буғи иштирокида термик ишлов бериш жараёнининг ҳароратини тартибга солиш орқали мураккаб минералларни тўлиқ ва зарур ҳолларда қисман парчалаш ва хом ашёни мишьякдан тозалаш мумкин.

Калит сўзлар: технология, қайта ишлаш, сув буғи иштирокида термик ишлов бериш, флотоконцентрат, ҳарорат, минераллар, олтин, парчаланиш, дисульфуризация даражаси.

PROCESSING OF GOLD-CONTAINING FLOTOCENTRATES BY THERMAL STEAM TREATMENT

Abdurakhmonov Soyib - doctor of technical sciences, prof., Almalyk branch of Tashkent State Technical University, olmos.boss@mail.ru
Kholiqulov Doniyor Baxtiyorovich - doctor of Technical Sciences, assoc. Almalyk branch of Tashkent State Technical University, doniyor_xb@mail.ru
Almatova Iroda Urazalievna - Master student Almalyk branch of Tashkent State Technical University

Annotation. The paper analyzes modern methods of processing gold-bearing flotation concentrates. The results of laboratory studies to improve the preparation of flotation concentrates for cyanidation by the method of thermal steam treatment are presented. By regulating the temperature of the process of thermal steam treatment of sulfide raw materials,



complete or, if necessary, partial decomposition of complex minerals and purification of raw materials from arsenic is possible.

Key words: technology, processing, thermal steam treatment, flotation concentrate, temperature, minerals, gold, decomposition, degree of disulfurization.

Узбекистан является одним из ведущих золотодобывающих государств и входит в первую десятку в мире по уровню добычи золота. В республике известно около 600 месторождений, рудопроявлений и точек золотой минерализации. 144 объекта учтены кадастрами Госгеолфонда РУз: отработывается-12, разведены-15, разведуются-16 месторождений золота. Главное значение имеют коренные месторождения золота, расположенные в основном в трех геолога-экономических районах – Кызылкумском (Мурунтау, Кокпатас, Мютенбай, Триада, Балпантау, Амантайтау, Даугызтау, Аджибугут, Турбай, Алтынтау, Айтым и др.), Нурата-Самаркандском (Зармитан, Гужумсай, Сармич, Биран, Маржанбулак, Алтынказган и др.) и Приташкентском (Кочбулак, Кайрагач, Кызылалмасай, Актурпак, Каульды, Пирмираб, Гузаксай, Сартабуткан и др.) [1].

Увеличение производства благородных металлов требует вовлечения новых месторождений полиметаллических сульфидных руд, многие из которых содержат мышьяк и сурьму. Золотомышьяковые и золотосурьмяные руды весьма трудно перерабатываются традиционными технологическими процессами. Это, прежде всего, связано со сложными вещественными и минералого-техногенными особенностями упорных золотосодержащих сурьмяно-мышьяковых руд и концентратов. Каждое конкретное рудное месторождение требует индивидуальный технологический подход с учетом их минералого-техногенных особенностей [2-3].

Для переработки упорных золотосодержащих руд пока еще сохраняется цианистый процесс как основной метод извлечения золота. Основные пути усовершенствования технологии переработки упорных руд направлены на подготовку таких руд к цианистому процессу. Предлагается множество подходов на подготовку руд к цианированию, суть которых состоит в освобождении неизвлекаемых форм золота путем удаления мешающих вредных примесей: сурьмы, мышьяка, серы, углистых веществ и др., включением в технологическую схему специальных приемов - выщелачивание в присутствии ионообменных смол, химическое или биоксидное выщелачивание и т.д [4-5].

Существенное повышение извлечения золота при цианировании достигается, если удалены из руд сурьма, мышьяк и сера. Это является основным объектом теоретических исследований и практических изысканий по разработке экономически эффективных и экологически безопасных методов комплексной переработки упорных золотосодержащих сульфидных руд.

В работе [7] проанализированы гидрометаллургические и пирометаллургические приемы и методы переработки золоторудных гравитационных и флотационных концентратов. Наибольшая эффективность извлечения с получением продуктов, пригодных для аффинажного производства, достигается при использовании пирометаллургических приемов экстракционного концентрирования благородных металлов в расплавленных меди и свинце. В оптимальных условиях электрохимического вскрытия разложилось 72-87 % арсенопирита и 45-53 % пирита. Содержание золота в хвостах цианирования кеков вскрытия находилось на уровне переработки концентратов по схеме обжиг - цианирование огарков. Золотосодержащие кеки направляют на плавку с получением золотого сплава. Прямое извлечение золота по данной технологии не превышает 70 %.

Авторами [8] рассмотрены технологии переработки бедных и упорных золотосодержащих руд. Более третья часть всех запасов таких руд отвечает критерию трудно обогащаемых (упорных). Для их переработки рекомендуется



применять эффективные технологии: методы предварительной сепарации, кучного выщелачивания, тонкого и сверхтонкого измельчения, гидрохимического вскрытия, бактериального окисления, окислительного обжига, а также методы безцианидного выщелачивания, в зависимости от их физико-механических свойств и минерального состава.

Анализ современного состояния минерально-сырьевой базы золотосодержащих руд показал снижение содержаний золота с 4,3 до 2,4 г/т. Эти руды с большим трудом вовлекаются в промышленное производство, также накоплены большие объемы забалансовых руд, вскрышных пород, лежалых хвостов ЗИФ [7-10].

Для эффективного вовлечения в промышленное производство руды упорного золота необходимо совершенствовать и активно применять методы вскрытия упорного сырья не только с использованием цианида но и других растворителей. Это методы тонкого и сверхтонкого измельчения, методы гидрохимического вскрытия, бактериальное окисление золотосодержащих сульфидов, окислительный обжиг [10-21].

Автором [22-23] проведен анализ научных публикаций по эффективности переработки упорных руд методами кучного, кюветного и бактериального выщелачивания, а также нетрадиционных способов интенсификации процессов.

Авторами [24] исследована возможность переработки золотосодержащего пирит-арсенопиритного концентрата и медно-цинкового промпродукта, содержащего мышьяк, с помощью чанового биоокисления. Биоокисление в проточном режиме при 40°C с использованием смешанной культуры умеренно термофильных и термотолерантных ацидофильных микроорганизмов позволило достичь высокой степени окисления сульфидных минералов в пирит-арсенопиритном концентрате и повысить извлечение золота цианированием с 43 до 92%, тогда как степень извлечения цветных металлов из медно-цинкового промпродукта была относительно невысокой (17 и 70% меди и цинка, соответственно). При этом биоокисление позволило удалить из промпродукта около 58% мышьяка и снизить его содержание до 0,56 %.

В работе [25] приведены результаты лабораторных исследований по автоклавному выщелачиванию с последующим цианированием сульфидного золотосодержащего флотоконцентра, содержащего сульфиды меди и цинка, одного из месторождений республики Казахстан. Автоклавное вскрытие позволяет повысить извлечение золота до 98 %. Извлечение меди и цинка в раствор при автоклавном выщелачивании достигает 98-99 % и зависит от температуры и продолжительности процесса.

Одним из главных путей повышения эффективности процесса выщелачивания золота – интенсификация собственно химического воздействия золота с цианистыми растворами представлен всего лишь двумя методами. К тому же автоклавный способ до настоящего времени не нашел еще применения в данной области интенсификации процесса. Причина – необходимость применения сложной, дорогостоящей аппаратуры, трудность осуществления процесса в непрерывных условиях и высокая стоимость использования известного способа. Заметные преимущества перед ним имеет, в этом плане, электрохимический метод: незначительные капитальные затраты, высокая управляемость процессом, относительно невысокие эксплуатационные затраты [26].

Переработка различных типов сульфидных золотосодержащих руд со сменными блоками двойного окисления осуществляется последующим вариантам: сложносульфидных пирит-халькопиритовых и сульфидно-солевых руд с непродуктивными включениями углистого вещества – фотоэлектрохимическое и биоокисление; сульфидно-сульфосолевых (блеклые руды) – физико-химическое и



биоокисление и сульфидно-сульфосолевых с включениями золотосодержащего углистого вещества – фотохимическое и электрохимическое окисление. Технология кюветно-кучного выщелачивания золота со сменными активационными блоками адаптирована к типу руды и её технологической упорности и позволяет повысить эффективность и извлечение золота при переработке различных типов сульфидных руд более чем на 20 %. Разработанная технология кюветно-кучного выщелачивания имеет большие перспективы при переработке упорных золотосодержащих руд [27].

Разработанная технология [28] кучного бактериального окисления позволяет подготовить сульфидные упорные золотосодержащие руды для последующего извлечения золота на основе использования технологии бактериального выщелачивания, что приводит к значительному приросту извлечения золота. При этом сульфидные минералы переходят в естественные окисленные формы с минимальным техногенным воздействием на окружающую среду.

Технологию бактериального извлечения золота целесообразно использовать при переработке сульфидной золотосодержащей руды, бедного сырья и хвостов как с теоретической, так и практической точек зрения. Это решение особенно актуально в связи с истощением природных ресурсов и загрязнением окружающей среды [29].

В результате лабораторных исследований по низкотемпературному интенсивному обжигу во взвешенном состоянии продукта биологического окисления в определено, что, обжиг при температуре 600°C в течение 90 мин и последующее сорбционное цианирование огарка обеспечивает повышение придельного извлечение золота до 82,7 % [30-32].

В разведанных к настоящему времени рудных месторождениях, содержащееся в их рудах золото может находиться в нескольких видах: самородном, минеральном и рассеянном состоянии. Последнее представлено, как правило, субмикроскопическими (коллоидными) частицами или входит в кристаллическую матрицу различных сульфидов и дано в специальной литературе через термин «невидимое» золото. Выявление наночастиц золота на большинстве золотосодержащих (рудных и россыпных, геогенных и техногенных) месторождений позволяет существенно расширить существующую минерально-сырьевую базу этого металла, а детализация его возможных наночастиц – обеспечит разработку эффективных технологий его обогащения (извлечения) [33-35].

Процесс хлоридовозгонки представляет особую важность для упорных, труднообогатимых материалов, переработка которых другими способами сложна и малоэффективна. Установлена необходимость проведения окислительного обжига Au-содержащей магнитной фракции, определены его технологические параметры. По результатам анализа выбран хлорирующий агент для хлоридовозгонки золота. Выявлено, что скорость взаимодействия золота с газообразным хлором значительно выше, чем при использовании твердых хлоридов или HCl [36-37].

Гидрохлорирование обеспечивает высокую степень извлечения золота в раствор и позволяет получить металл высокой чистоты. Быстрота процесса приводит к увеличению производительности аппарата и, соответственно, к улучшению технико-экономических показателей. Обжиг золотосодержащей магнитной фракции улучшает параметры извлечения золота: степень перехода в раствор составляет 65 % от обожжённой фракции и 30 % от необожжённой [38-39].

Термообработка золотосодержащих сульфидных концентратов в нейтральной атмосфере, при относительно низком температурном режиме, была произведена А.К.Кунбазаровым с целью повышения степени извлечения золота в цианистые растворы [40]. При этом, термообработка концентратов Даугызтау и Алмалыка, при 380-420°C, в течение 4 часов способствовала повышению извлечения золота в 3 и 1,5 раза, а серебра в 2-1,5 раза соответственно.

Также авторами [41-43] получены удовлетворительные результаты по применению термopарообработки для обжига горючих сланцев, медно-молибденовых концентратов и цинкового кека.

В результате анализов литературных источников очевидна необходимость создания эффективной малоотходной гидрометаллургической технологии селективного извлечения золота, серебра, тяжелых металлов и серы, в рамках одного предприятия, с получением товарных ценных продуктов и обеспечением экологической безопасности.

Объектом исследований послужили упорные сульфидные флотоконцентраты, содержащие мышьяк, сурьму и углистые вещества, переработка которых затруднена или вообще не ведется. К таковым были отнесены золотосурьмяно-мышьяковые концентраты месторождений Кокпатас и Даугызтау.

Пробы флотоконцентратов месторождений Кокпатаса и Даугызтау подвергались термографическому исследованию на дериватографе системы Ф.Паулик, И.Паулик и Л.Эрдей (рис. 1). Сложный характер минералов, входящих в состав Даугызтауского и Кокпатасского флотоконцентратов, приводит к появлению несколько эндо и экзоэффектов на их кривых ДТА. В частности, слабый эндоэффект, обнаруживаемый при 140°C, обусловлен, вероятно, испарением легколетучих соединений, потерей воды. Появление при 460-480°C экзоэффекта обусловлено возгоранием сульфидов мышьяка, сурьмы, железа. Если эндоэффект при 580°C обусловлен диссоциацией арсено-пирита, то существенных изменений в массе продукта недолжно было наблюдаться. На самом деле потери массы, при 500-580°C составляют 13,32 % (табл. 1). Это указывает на сопряженное протекание процесса возгорания и возгонки продуктов диссоциации арсенопирита с образованием летучих оксидных соединений мышьяка (As_2O_3). Так что этот эффект представляет собой сумму эндоэффекта диссоциации и экзоэффекта возгорания продуктов разложений. Надо полагать, что энергия, требуемая для диссоциации арсенопирита больше, чем энергия, выделяемая при окислении мышьяка. Эндоэффект, наблюдаемый при 680°C, появляется в результате наступления процесса интенсивной диссоциации пирита с образованием элементарной серы, которая тут же возгорается.

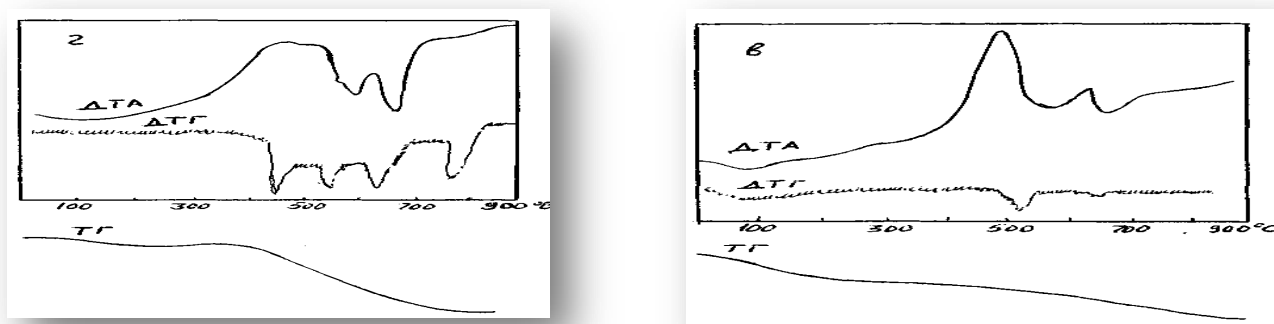


Рис. 1. Термограммы исходных в) Даугызтауский; г) – Кокпатасский

Отличие термограммы Даугызтауского концентрата от изложенного заключается только в том, что потери массы на перечисленных участках эффектов более резко выражены, т. е. эффекты сопровождаются с большей потерей в массе, в каждом отдельно взятом участке (табл. 1).



Таблица 1

Потери массы материалов при снятии их термограммы, %

№	Наименование флотоконцентрата	Интервал температуры, °С					Общая потеря
		0-200	200-400	400-600	600-800	800-1000	
1	Кокпатасский	0,99	2,81	13,32	3,41	6,26	26,74
2	Даугызтауский	3,64	3,87		23,4		30,91

Таким образом, при термопарообработке сульфидных концентратов протекает сложный процесс, этапами которого являются взаимодействие элементарной серы с парами воды и продукта этой реакции - диоксида серы с сульфидными минералами: а продукты реакции сульфидного минерала - элементарная сера вновь вступает в реакцию с парами воды и т.д. Отсюда следует, что для начала реакции необходимо в небольших количествах элементарной серы, а далее парообразная сера, образующаяся в результате реакции между диоксидом серы и сульфидами, вновь вступает во взаимодействие с сульфидным минералом.

Термопарообработка золотосодержащих сульфидных концентратов проводилась при различной температуре и продолжительности процесса на специальной установке (рис. 2). При этом испытываемые концентраты подвергались исследованию в той форме (крупности), какой она поступала из обогатительной фабрики, а руды измельчались до крупности - 0,14 мм. При выборе интервала температур термопарообработки концентратов исходили из их минералогического состава, а именно, концентраты, содержащие арсенопирит, пирит, халькопирит подвергались термопарообработке в интервале температур 300-700⁰С. Отметим, что повышать температуру термопарообработки более 700⁰С нежелательно, и из экономических соображений окислы железа теряют свои магнитные свойства, которые намечены разделением магнитной сепарацией из концентратов после термопарообработки.

Практический интерес представляет выявление степени превращения протекания процесса при термопарообработке испытываемых концентратов в заданном режиме. О степени превращения судили по потере массы концентрата. Результаты опытов по изучению изменения массы концентратов, а также некоторых индивидуальных соединений, содержащихся в отдельных концентратах, в зависимости от температуры парообработки при заданной продолжительности процесса приведены на рис. 3, а сравнительные данные по потере массы концентратами при их окислительном обжиге (прокалке) и в условиях термопарообработки приведены в табл.2.

Обращает на себя внимание идентичный ход кривых зависимости потери массы как индивидуальных соединений, так и сульфидных концентратов сурьмы от температуры: с ростом температуры увеличивается потеря массы продуктов и тенденция на замедление не наблюдается, при заданной продолжительности процесса (рис. 3). Это происходит по той причине, что под влиянием потока водяного пара интенсифицируется возгонка оксидов и сульфидов сурьмы; унос последних в течение 1 часа составляет около 30 %.

Как следует из данных рис. 3, с повышением температуры парообработки происходит уменьшение массы концентратов. Это обусловлено и удалением влаги и уносом легколетучих и легкоразлагающихся продуктов взаимодействия концентратов с парами воды. Надо полагать, что в первую очередь это сульфидная сера, содержащаяся в составе концентрата. Следует отметить, что с повышением температуры термопарообработки потери массы всех сульфидных концентратов возрастает, причём заметная потеря массы происходит, начиная с 400⁰С. Для Кокпотасского и Даугызтауского флотоконцентратов наклон кривых зависимости

потери массы от температуры одинаков, что указывает на одинаковый ход протекания процесса, но с разной степенью потери массы.

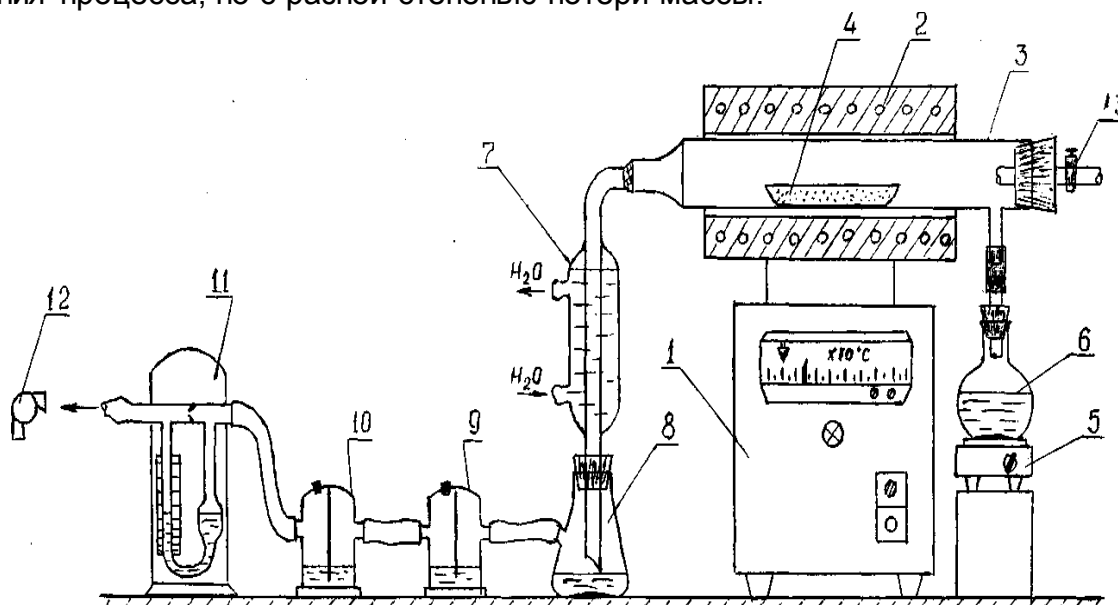


Рис. 2. Схема лабораторной установки для термопарообработки материалов: 1-Электропечь СУОЛ -0,25,1/12-М1, 2-нагреватель, 3-стальная труба, 4-форфоровая лодочка с навеской, 5-бытовая электроплитка, 6-источник водяного пара, 7-холодильник, 8-приёмник конденсата, 9-поглотительный сосуд сероводорода, 10-поглотительный сосуд сернистого газа, 11-расходомер, 12-водоструйный насос, 13-кран для регулировки подачи воздуха.

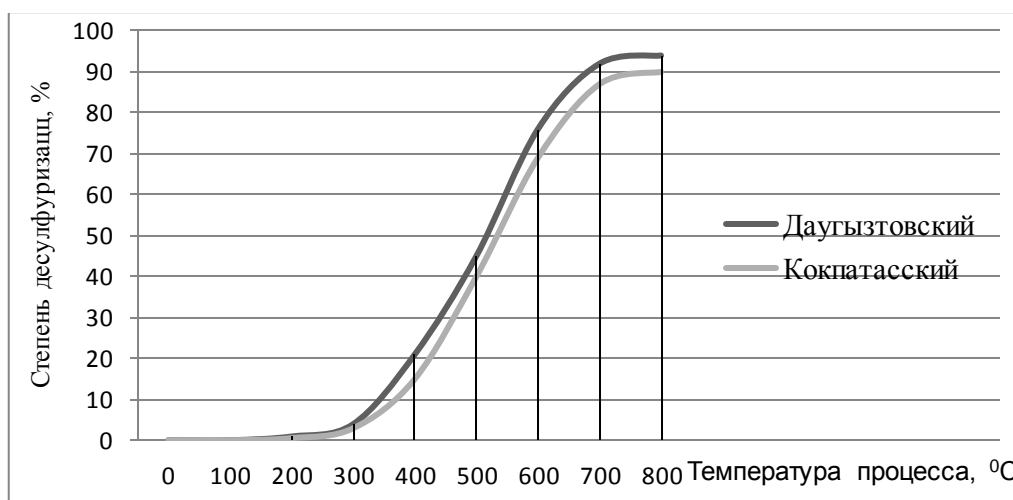


Рис. 3. Изменение массы золотосодержащих флотоконцентратов в зависимости от температуры термопарообработки

Таблица 2

Потери массы концентратов при термообработке

Наименование флотоконцентрат а	Содержание серы, %	Потери массы		
		Температура, °C	В атмосфере	
			Воздуха	Водяного пара
Кокпатасский	27,5	700	21,03	25,33
Дaugызтауский	28,0	700	32,38	34,18

Таким образом, термографическими и термодинамическими методами исследований, а также экспериментальным путем определены условия разложения сложных сульфидных минералов и механизм взаимодействия сульфидов с водяным паром при термопарообработке. Установлено, что регулируя температуру процесса



термопарообработки сульфидного сырья, возможно полное или, при необходимости, частичное разложение сложных минералов и очистка сырья от мышьяка;

Исходя из вышеизложенного следует, что термопарообработка является наиболее приемлемым и эффективным процессом для разложения сульфидных флотоконцентратов.

Список литературы:

1. Рудные месторождения Узбекистана. Ташкент: ГИДРОИНГО, 2001. -661 с.
2. Санақулов К. Научно-технические основы переработки отходов горно-металлургического производства. Ташкент: «Фан» Ан РУз, 2009. - 432 с.
3. Исаходжаев Б.А. Комплексные сурьмосодержащие месторождения западной части Южного Тяньшаня. Автореферат докторской диссертации. -Ташкент, 1994.
4. Масленицкий И.Н., Чугаев Л.В. Metallургия благородных металлов. М.: Metallургия, 1987. - 432 с.
5. Зеленов В.И. Методика исследования золотосодержащих руд. М.: Недра, 1978.- 320с.
6. Плаксин И.Н. Metallургия благородных металлов. М.: Metallургиздат, 1958. - С.25- 30.
7. В.С. Чекушин, Н.В. Олейникова. Переработка золотосодержащих рудных концентратов (обзор методов). Известия Челябинского научного центра. Metallургические процессы и металлообработка, вып. 4 (30), 2005. С. 94-101. http://www.csc.ac.ru/news/2005_4/2005_4_7_4.pdf.
8. Б.В. Комогорцев, А.А. Вареничев. Проблемы переработки бедных и упорных золотосодержащих руд. Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2016 С. 204-217. <https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-pererabotki-bednyh-i-upornyh-zolotosoderzhaschih-rud/viewer>.
9. Eisele J.A. Сравнение выщелачивания золотых и серебряных руд растворами цианида и тиомочевины. Precious Metals – 89. Proc. Int. Symp. Tms. Annu. Meet, Las Vegas, Nev. Febr. 27. March 2.1989.- С.253-259.
10. Михайлов Б.К., Седельникова Г.В., Беневольский Б.И., Романчук А.И. Инновационные технологии переработки упорных и бедных руд золота как основа рационального недропользования // Руды и металлы. – 2014. – № 1. – С. 5–8.
11. Седельникова Г.В., Романчук А.И., Ким Д.Х., Савари Е.Е. Новые технологии извлечения благородных и цветных металлов из рудного и технологического сырья. Новые технологии обогащения и комплексной переработки труднообогатимого природного и техногенного минерального сырья (Плаксинские чтения 2011) / Материалы международного совещания Верхняя Пышма, 19–24 сентября, 2011. – Екатеринбург: Форт-Диалог – Исеть. – 2011. – С. 12–16.
12. Потылицын В.А., Тарасов А.В. Повышение извлечения инка на горно-металлургических предприятиях Урала // Цветная Metallургия. – 2013. – № 1. – С. 7–13.
13. Яшкин И.А., Овешников Ю.М., Авдеев П.Б. Повышение эффективности технологии кучного выщелачивания золотосодержащих руд // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2014. – № 4. – С. 162–168.
14. Мязин В.П., Шестернев Д.М. Техническое решение для реализации технологии круглогодичного кучного выщелачивания в условиях криолитозоны Забайкалья // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2013. – № 5. – С. 101–108.



15. Раимжанов Б.Р., Намазбаев Н.Н., Назамбаев Ш.Н. Технология кучного выщелачивания золота с применением оксихлоридных растворов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2014. – № 3. – С. 144–147.
16. Сенченко А.Е., Аксенов А.В., Васильев А.А. Атмосферное окисление упорных золотосодержащих концентратов и руд / 8 Конгресс обогащения стран СНГ, Москва, 28 февраля-02 марта, 2011. Сборник Материалов, Т. 1. – М.: МИСиС, 2011. – С. 291–296.
17. Зинченко З.А., Самихов Ш.Р. Переработка упорных золотосодержащих руд Таджикистана // Горный журнал. – 2014. – № 4. – С. 97–98.
18. Захаров Б.А., Шнеерсон Я.М., Чугаев А.В. и др. Разработка технологии автоклавной переработки концентратов и промпродуктов Олимпиадненского ГОКа ЗАО «Полус» // Золото и технологии. – № 3. – С. 24–28.
19. Палеев П.Л., Гуляшинов А.Н. Андропова И.Г., Гуляшинов П.А. Извлечение золота из упорных арсенопиритных руд и концентратов // Золото и технологии. – 2013. – № 2. – С. 36–38.
20. Шкетова Л.Е., Селезнев А.Н. Применение биотехнологии при извлечении золота из сульфидных углистых руд // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. – 2014. – № 1. – С. 34–42.
21. Радомская В.И., Радомский С.М. Павлова Л.М. Условия применения технологии тиокарбамидного выщелачивания золота и серебра // Георесурсы. – 2013. – № 5. – С. 22–27.
22. Л.В.Шумилова. Интенсификация процессов извлечения золота и эффективная подготовка к цианированию сульфидных руд и концентратов. Иркутский государственный университет путей сообщения. Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. С. 173-178. <https://cyberleninka.ru/article/n/intensifikatsiya-protsessov-izvlecheniya-zolota-i-effektivnaya-podgotovka-k-tsianirovaniyu-sulfidnyh-rud-i-kontsentrato/vviewer>.
23. Кузякина Т.И., Хайнасова Т.С., Левенец О.О. Биотехнология извлечения металлов из сульфидных руд. Вестник Камчатской региональной ассоциации «Учебно-научный центр». Серия: Науки о Земле. Выпуск 12, № 2, с. 76-86.
24. А.Г.Булаев, В.С.Меламуд, К.С.Воробьева, Г.Г.Челидзе, А.Я.. Биоокисление сульфидных мышьяксодержащих концентратовнаучные основы и практика переработки руд и техногенного сырья. Материалы XXIII Международной научно-технической конференции, проводимой в рамках XVI Уральской горнопромышленной декады. Екатеринбург, 10-13 апреля 2018 г. Издательство: Издательство «Форт Диалог-Исеть» (Екатеринбург). С. 228-233.
25. Епифоров А.В., Богородский А.В., Баликов С.В., Емельянов Ю.Е., Копылова Н. В. Лабораторные исследования высокотемпературного автоклавного окисления полиметаллических золотосодержащих сульфидных концентратов. Вестник ИрГТУ, 2012, №1(60), с. 116-119. <https://cyberleninka.ru/article/n/laboratornye-issledovaniya-vysokotemperaturnogo-avtoklavnogo-okisleniya-polimetallicheskikh-zolotosoderzhaschih-sulfidnyh/viewer>.
26. Natarajan K.A, Biotechnology in gold processing// Bull. Mater. Sci. . 1993. - 16, №6. -P.501-508. Меретуков М.А., Орлов А.М. Металлургия благородных металлов (зарубежный опыт). – М.: Metallurgia, 1990. -416 с.
27. Резник Ю.Н., Шумилова Л.В. Способ подготовки упорных сульфидных золотосодержащих руд к выщелачиванию. Иркутский государственный университет путей сообщения. Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. С. 15-20. <https://cyberleninka.ru/article/n/sposob-podgotovki-upornyh-sulfidnyh-zolotosoderzhaschih-rud-k-vyschelachivaniyu>.
28. В.А.Верхозина, Е.В.Верхозина, Л.И.Шкетова, С.С.Тимофеева. Исследование биотехнологической переработки сульфидной золотосодержащей



руды. Известия ВУЗов. Прикладная химия и биотехнология. Том 9 № 1 2019 С. 109-116. <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-biotehnologicheskoy-pererabotki-sulfidnoy-zolotosoderzhaschey-rudy/viewer>

29. Тимофеева С.С. Фитомайнинг: современное состояние и перспективы // XXI век. Техносферная безопасность. 2018. Т. 3. N. 3 (11). С. 112–128. DOI: <http://dx.doi.org/10.21285/1814-3520-2018-3-112-128>.

30. Alvarez S., Jeres C. Copper ions stimulate polyphosphate degradation and phosphate efflux in *Acidithiobacillus ferrooxidans* // *Appl. Environ. Microbiol.* 2004. Vol. 70. P. 5177–5182.

31. Breed A.W., Dempers C.J.N., Hansford G.S. Studies on the bioleaching of refractory concentrates // *Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy.* 2000. Vol. 100. No. 7. P. 161–174.

32. Ehrlich H.L. Past, present and future of biohydrometallurgy // *Hydrometallurgy.* 2001. Vol. 59. P. 127–137.

33. Толибов Б.И. Исследование процесса окислительного обжига золотосодержащих сульфидных материалов для разработки оптимального режима. https://www.researchgate.net/profile/Behzod_Tolibov2/publication/342067028_Issledovaniye_processa_okislitel'nogo_obziga_zolotosoderzashih_sulfidnyh_materialov_dla_razrabotki_optimal'nogo_rezima/links/5ee4d7d392851ce9e7e06b3f/Issledovanie-processa-okislitel'nogo-obziga-zolotosoderzashih-sulfidnyh-materialov-dla-razrabotki-optimal'nogo-rezima.pdf.

34. Хабилов В.В., Забельский В.К., Воробьев А.Е. Прогрессивные технологии добычи и переработки золотосодержащего сырья / Под ред. акад. Н.П. Лаверова. – М.: Недра, 1994. – 272 с.

35. Воробьев А.Е., Гладуш А.Д. Геохимия золота. Ресурсы и технологии России. – М.: Изд-во РУДН, 2000. – 431 с.

36. Воробьев А.Е., Носыров У.Ф., Ибрагимов Р.Р., Трабелсси С., Холикулов Д.Б. Выявленные наночастицы золота в геогенном и техногенном минеральном сырье. *Горный вестник Узбекистана*, 2015, № 2, с. 18-27.

37. Стрижко Л.С., Нормуротов Р.И., Холикулов Д.Б. Исследования по извлечению золота из золотосодержащей магнитной фракции хлорированием. *Известия вузов Цветная металлургия*, 2009, № 4, с. 35-38. <https://doi.org/10.3103/S1067821209040075>

38. Стрижко Л.С., Нормуротов Р.И., Холикулов Д.Б. Изучение процесса гидрохлорирования золота при переработке золотосодержащей магнитной фракции. *Известия вузов Цветная металлургия*, 2009, № 5, с. 17-19. <https://doi.org/10.3103/S1067821209050046>

39. L.S.Strizhko, R.I.Normurotov, D.B.Kholikulov, Investigations into extracting gold from gold-containing magnesium fraction by chlorination. *Russ. J. Non-Ferrous Metals*, 2009, 50, 348-352.

40. L.S.Strizhko, R.I.Normurotov, D.B.Kholikulov, Study of the process for gold hydrochlorination in gold-containing magnetic fraction processing. *Russ. J. Non-Ferrous Metals*, 2009, 50, 449-451.

41. Кунбазаров А. Разработка и усовершенствование технологии извлечения золота и серебра из упорных руд. Автореферат докторской диссертации. Ташкент, 1992.

42. Холикулов Д.Б., Раимжонов Б.Р., Абдурахмонов С.А., Аскарлов М.А., Курбонов Ш.К. Прогрессивная технология переработки горючих сланцев Кызылкумов. *Горный вестник Узбекистана*, 2003, № 3, с. 40-43.

43. Абдурахмонов С.А., Холикулов Д.Б., Курбонов Ш.К., Кутбиддинов Б.А. Механизм окисления сульфидов, входящих в состав медно-молибденового продукта, при термодобывании. *Цветная металлургия*. 2003, № 2, с. 22-26.



44. Абдурахманов С.А., Холикулов Д.Б., Курбонов Ш.К., Ахтамов Ф.Э. Подготовка сульфидных руд и концентратов к гидрометаллургической переработке методом термопарообработки. Горный вестник Узбекистана, 2014, № 4, с. 91-95.

45. Абдурахмонов С.А., Раимжонов Б.Р., Холикулов Д.Б., Курбонов Ш.К. Извлечение золота и сурьмы из упорных руд и концентратов. Тошкент: Изд. «Turon zamin ziyo», 2015 г., -260 с.