УДК 669.849.3 DOI: 10.21440/0536-1028-2023-2-43-51

Переработка золотосодержащего сурьмяно-сульфидного механоактивированного концентрата

Рахимов Х. Ш.[1], Эшов Б. Б.[2], Кадиров А. А.[1], Бадалов А. Б.[3]
[1] Горно-металлургический институт Таджикистана, г. Бустон, Республика Таджикистан
[2] Центр исследования инновационных технологий Национальной академии наук Таджикистана, г. Душанбе, Республика Таджикистан
[3] Таджикский технический университет им. М. Осими, г. Душанбе, Республика Таджикистан
e-mail: hayotrahimi95@mail.ru

Реферат

Введение. *Решение важных стратегических задач Республики Таджикистан зависит от таких отраслей промышленности, как химическая, горнодобывающая, горноперерабатывающая и металлургическая, ритмичное функционирование которых обеспечивается развитой энергетической и транспортной индустрией. Комплексная переработка многочисленных полезных ископаемых, расположенных на территории Республики Таджикистан, способствует появлению новых производственных объектов и рабочих мест, переходу от производителя сырья и полуфабрикатов к производителю готовой продукции и решению социально-экономических задач.*

Методика проведения исследований. *При переработке золотосодержащего сурьмяно-сульфидного механоактивированного концентрата очевидна целесообразность разделения сурьмы и благородных металлов перед цианированием, что может быть достигнуто методами пирометаллургии или обогащения. Дистилляционный обжиг позволяет достаточно полно удалить сурьму из относительно бедных этим металлом комплексных руд, однако при переработке богатого сурьмой сырья возникают осложнения в связи с опасностью образования настыли в печах. В то же время при высокой температуре (1000–1100 °С) большое количество золота может соединиться с оксидами и стать оксидом. Сурьма может быть удалена при обжиге с хлорированием. Добавка хлорирующего реагента позволяет повысить извлечение золота при последующем цианировании огарка от 75 до 95–98 % по сравнению с обычным окислительным обжигом.*

Результаты и их анализ. *Данная статья является результатом серии опытов и реноваций технологий переработки сульфидно-сурьмяного концентрата, содержащего золото, до конечного продукта. Разработан эффективный способ хлорирующего обжига механоактивированного сурьмяно-золотого концентрата, содержащего благородные металлы, хлоридом натрия. Определен оптимальный режим процесса обжига, обеспечивающий высокий выход соединений сурьмы и золота, которые технологически легко перерабатываются.*

Ключевые слова: *сульфидно-сурьмяный концентрат; содержание золота; хлорирующий обжиг; хлорид натрия; комплексная переработка.*

Введение. Комплексная переработка поликомпонентных местных минеральных руд, имеющихся на территории Республики Таджикистан, требует поиска более эффективных способов извлечения не только основного компонента, но и других сопутствующих полезных веществ из состава минерального сырья. Среди полезных ископаемых Таджикистана сурьма является одним из стратегических металлов горнодобывающей промышленности и относится к группе редких металлов. По подтвержденным мировым запасам сурьмы Таджикистан занимает лидирующие позиции в мире и в азиатском регионе (примерно 1,8 млн/т) [1, 2].

Сурьма является халькофилом, содержащим серу и тяжелые металлы: медь, свинец и серебро в виде сульфосолей. Сурьма встречается либо в виде отдельного сульфида, такого как антимонит, сульфосолевых минералов – тетраэдрит, редких антимонидов – ауростибит, либо в виде второстепенного или следового компонента в сульфидах – арсенопирит и пирит. В природе встречается более 100 минералов сурьмы. В промышленном отношении антимонит представляет собой преобладающую важную и ценную руду. Месторождения сурьмы часто содержат большое количество сульфидов золота, серебра и ртути [1].

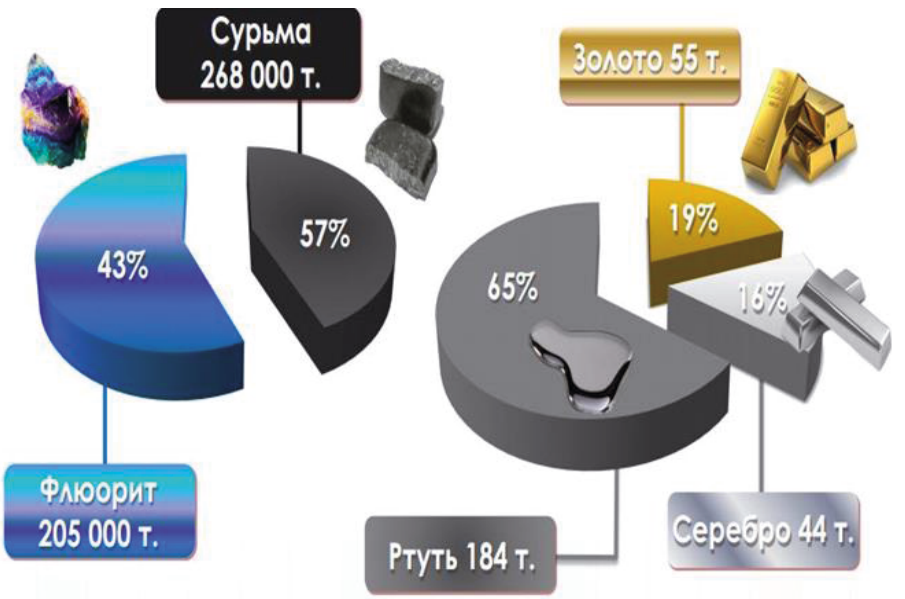

Рисунок 1. Общие запасы Кончочской группы месторождений
Figure 1. Total reserves of the Konchochsk cluster of fields

На месторождении Кончоч Айнинского района ведется строительство предприятия по добыче золота и сурьмы закрытым акционерным обществом «Талко Голд». Группа рудников Кончоч состоит из трех структур: Чолбой (золото и серебро), Кончоч (золото, серебро, ртуть, флюорит) и Шахкон (золото, сурьма, мышьяк, флюорит) [3].

По предварительным оценкам, месторождение Кончоч содержит 55 т золота, 44 т серебра, 184 т ртути, 268 тыс. т сурьмы и 205 тыс. т флюорита. Схема месторождения показана на рис. 1.

В рудниках Кончоч (Шохкон) находится большое количество золота, ему сопутствует металлическая сурьма. Поэтому комплексная переработка сульфидно-сурьмяного концентрата, содержащего золото, является актуальной задачей.

Концентрат на месторождениях получают методом флотации. Как показали исследования ученых в этой области, последующее цианирование остатка восстановительного выщелачивания привело к извлечению только 27 % золота по сравнению с 11 %, полученными при прямом цианировании флотационного концентрата. Однако окислительное выщелачивание того же остатка с последующим цианированием обеспечило извлечение золота более 95 %, что, возможно, свидетельствует о том, что сульфидная матрица не является единственной причиной

тугоплавкости, присущей антимонитовым рудам. С этой точки зрения первостепенной задачей считается отделение концентрата от серы перед процессом подвыщелачивания [4].

Окислительний обжиг позволяет достаточно полно удалить сурьму из относительно бедных этим металлом комплексных руд, однако при переработке богатого сурьмой сырья возникают осложнения в связи с опасностью образования настыли в печах. При высокой температуре (1000–1100 °C) большое количество золота может соединиться с оксидами [5]. Американский ученый Корби Г. Андерсон в своей научной статье [6] отмечает, что удаление сурьмы в виде улетучившегося триоксида является единственным пирометаллургическим методом, подходящим для руд с низким содержанием золота.

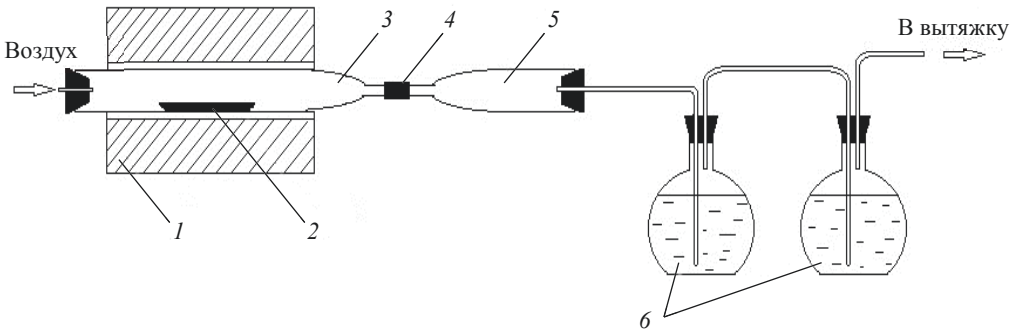

Рисунок 2. Установка для окислительно-хлорирующего обжига сульфидно-сурьмяного концентрата, содержащего золото: *1* – поворотная трубчатая печь; *2* – лоток с шихтой; *3* – реактор для обжига; *4* – соединительное устройство; *5* – пылеулавливающая камера (конденсатор); *6* – абсорберы

Figure 2. Installation for oxidation-chlorination roasting of antimony sulfide concentrate containing gold: *1* – rotary tube furnace; *2* – tray with charge; *3* – reactor for roasting; *4* – connecting device; *5* – dust collecting chamber (condenser); *6* – absorbers

Одним из перспективных направлений пирометаллургического способа переработки минеральных руд и концентратов является хлорирующий обжиг [7–11] в комбинации с механической активацией.

Механическая активация – инновационный метод [12], при котором улучшение эффективности гидрометаллургических процессов может быть достигнуто за счет сочетания новой площади поверхности и образования кристаллических дефектов в минералах. Снижение температуры реакции, увеличение скорости и степени растворимости, получение водорастворимых соединений, необходимость в более простых и менее дорогих реакторах и более короткое время реакции – вот некоторые из преимуществ механической активации. Особенно привлекательны экологические аспекты этих процессов [12]. В работе [13] указана эффективность предварительно механически активированного сульфидно-сурьмяного концентрата в сочетании с другими способами переработки этого вида концентрата [13].

Актуальными считаются исследования и разработки других способов переработки этого вида концентрата.

Золото и серебро часто сопутствуют сурьме; изоморфные включения этих металлов, как правило, присутствуют в ее минералах. Кроме того, золото и серебро нередко присутствуют в сопутствующих минералах, особенно в рудном кварце и сульфидах железа. Одним из распространенных способов извлечения золота и серебра из руд является цианирование. Процесс цианирования в присутствии

сурьмы вследствие ее вредного воздействия осложняется [6]: резко снижается извлечение золота и серебра, так как переходящие в цианистый раствор соединения сурьмы легко окисляются, расходуя необходимый для цианирования растворенный кислород; кроме того, на поверхности частиц золота и серебра образуется пленка нерастворимых соединений сурьмы, препятствующих контакту с цианистым раствором.

Предложенные многочисленные меры устранения вредного действия сурьмы на процесс цианирования оказались малоэффективными или экономически невыгодными [6, 14]. Присутствие сурьмы в цианистых растворах при цементации благородных металлов из раствора цинком создает опасность выделения высокотоксичного стибина, наличие сурьмы в цементном осадке затрудняет его аффинажную плавку.

Экспериментальная часть. Методы и результаты исследования. В результате проведенных исследований изучено влияние основных факторов: температуры, времени обжига и влияния соотношения массы хлорирующего реагента хлорида натрия к массе концентрата на скорость процесса окислительно-хлорирующего обжига предварительно механически активированного сульфидно-сурьмяного концентрата. Хлорирующий обжиг концентрата проведен с подачей или без доступа воздуха. Исследование влияния одного из указанных факторов при постоянстве других на процесс хлорирующего обжига проведено с участием атмосферного кислорода. Определены оптимальные условия проведения процесса, позволяющие достигать высокой степени переработки концентрата и выхода основного продукта обжига. Установлено, что с повышением температуры до 450 °С наблюдается рост выхода основного продукта обжига хлорида сурьмы (α = 49 %), который замедляется при более высоких температурах. При этой температуре наиболее оптимальное время процесса обжига концентрата составляет 90–120 мин. Высокий выход основного продукта обжига концентрата достигается при соотношении массы хлорирующего реагента (NaCl) m_1 к массе концентрата m_2: m_1/m_2= 1/4.

Смесь механоактивированного сульфидно-сурьмяного концентрата, содержащего золото, с хлоридом натрия, равномерно размещается в керамической лодочке и помещается в муфельную печь марки СНОЛ ПЛ 5/12,5, позволяющую достичь температуры 1400 °С.

Газообразные продукты обжига (SO_2 и другие) улавливаются в абсорберах.

Процесс обжига полученной смеси проведен при следующих условиях:

– при разных температурах обжига образца в интервале Т = 300–700 °С (с шагом варьирования ΔТ = 50 °С) и постоянстве соотношения массы хлорида натрия (m_1, г) и массы концентрата (m_2, г), равном m_1/m_2 = 1/4, и одинаковом времени выдержки (τ = 120 мин);

– при одинаковой температуре (Т = 450 °С) и постоянстве соотношения компонентов смеси (m_1/m_2 = 1/4), но с разным временем выдержки обжига образца τ от 30 до 210 мин с шагом $\Delta\tau$ = 30 мин;

– при разных соотношениях компонентов смеси (m_1/m_2) и постоянстве температуры (Т = 450 °С) и времени выдержки (τ = 120 мин) [6].

Взаимодействие сульфида сурьмы с хлоридом натрия в атмосфере воздуха описывается уравнениями:

$$3Sb_2S_3 + 18NaCl = 6SbCl_3 + 9Na_2S;$$

$$Sb_2S_3 + 6NaCl + 6O_2 = 2SbCl_3 + 3Na_2SO_4.$$

При соблюдении отмеченных условий процесс окислительно-хлорирующего обжига происходит при достаточно низких температурах с удалением серы практически полностью из системы. Основная часть сурьмы переходит в хлоридную форму, из которой сурьму можно легко извлечь, а другая – в оксидную форму, из которой сурьма тоже технологически извлекаема [15].

Обжиг концентрата и образование основного продукта обжига – хлорида сурьмы проведены в интервале температур от 100 до 700 °C при одинаковом времени выдержки (120 мин) и исходном составе шихты (m_1/m_2 = 1/4).

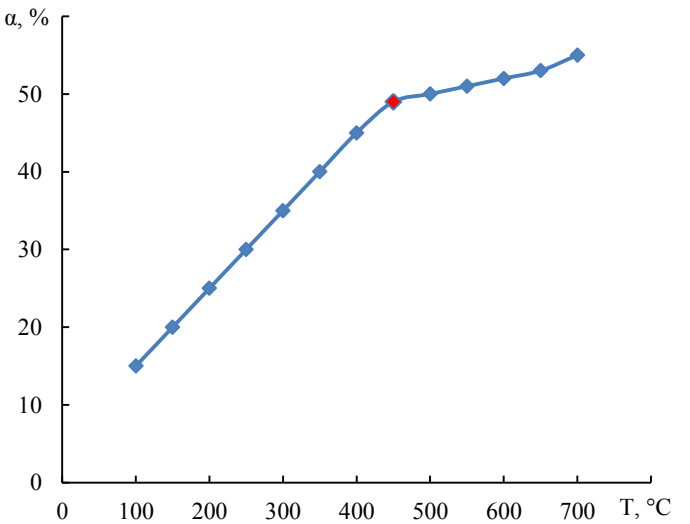

Рисунок 3. График зависимости образования хлорида сурьмы от температуры обжига концентрата при одинаковом времени выдержки и составе шихты

Figure 3. Dependence diagram for antimony chloride formation and the concentrate roasting temperature for the equal exposure time and charge composition

Результаты исследования (рис. 2) показывают, что до температуры 450 °C наблюдается заметный рост образования хлорида сурьмы (α = 49 %), который замедляется при более высоких температурах. Возможно, что при 450 °C начинаются процессы спекания концентрата и окисления сернистых соединений.

При дальнейших исследованиях в качестве опорной температуры принимали T = 450 °C. Результаты исследования зависимости образования хлорида сурьмы от времени выдержки обжига шихты при неизменности температуры и исходного состава шихты (m_1/m_2 = 1/4) изучены в интервале температур 100–450 °C.

Зависимость наглядно показывает (рис. 3), что процесс извлечения сурьмы из активированного концентрата состоит из трех периодов: начального, главного и конечного. Начальный период (до 90 мин времени выдержки) сопровождается слабым ростом извлечения хлорида сурьмы в пределах Δα = 10 %. Главный период сопровождается значительным выходом продукта, Δα = 30 % достигается в течение 90–120 мин.

Проведенные эксперименты показывают, что наиболее оптимальными условиями проведения процесса обжига механоактивированных сульфидно-сурьмяных концентратов, которые позволяют достичь максимальной степени извлечения сурьмы, являются: состав шихты ($m_{NaCl}/m_{концентрата}$ = 1/4), температура 450 °C, время обжига 120 мин [7, 16].

Золото не реагирует с хлоридом натрия и полностью освобождается от сульфидных соединений. Сурьма с сульфидными соединениями полностью переходит в хлоридную форму. Золото остается в продуктах сгорания. В результате исследований установлено, что хлорид натрия не влияет на золото, присутствующее в концентрате, при температуре до 450 °С.

Подщелачивание хлорированных продуктов сгорания серной кислотой. Золото – химически неактивный металл, не растворяется в серной кислоте. Сурьма полностью растворяется, распадается на ионы и при полировке попадает в раствор. Золото переходит в кек. Полученный кек направляется на цианирование, отстоявшийся раствор направляется на электролиз сурьмы.

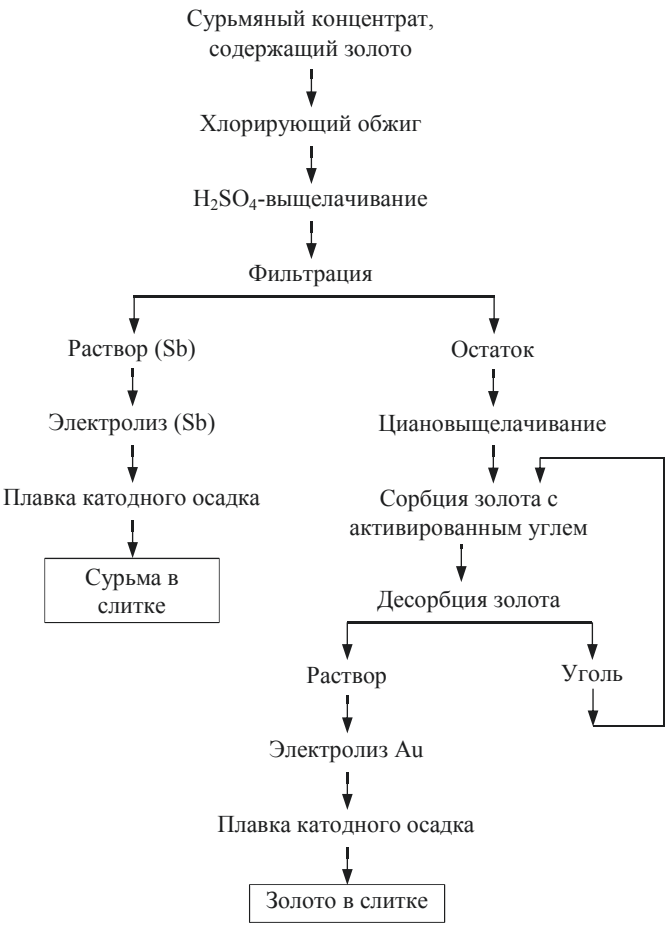

Рисунок 4. Технологическая схема извлечения сурьмы и золота из сульфидно-сурьмяного концентрата
Figure 4. Technological scheme for antimony and gold recovery from antimony sulfide concentrate

Разработанная принципиальная технологическая схема процесса хлорирующего обжига сульфидно-сурьмяного концентрата, содержащего золото, приведена на рис. 4.

Заключение. Комплексная переработка сульфидно-сурьмяного концентрата, содержащего золото, является актуальной темой. Очевидна целесообразность разделения сурьмы и благородных металлов перед цианированием, что может быть

достигнуто методами пирометаллургии или обогащения. Дистилляционный обжиг позволяет достаточно полно удалить сурьму из относительно бедных этим металлом комплексных руд. При переработке богатого сурьмой сырья возникают осложнения, связанные с опасностью образования настыли в печах. Сурьма может быть удалена при обжиге с хлорированием. Добавка хлорирующего реагента позволяет повысить извлечение золота при последующем цианировании огарка от 75 до 95–98 % по сравнению с обычным окислительным обжигом.

Минимизация экологического ущерба достигается легким удалением хлоридов. Хлориды, присутствующие в конденсированном состоянии, можно выщелачивать, чтобы отделить их от пустой породы. Вся сера в руде превращается в Na_2SO_4, и таким образом исключаются дорогостоящие операции по очистке газа.

Предложенная технологическая схема запатентована [17]. Разработанный способ окислительно-хлорирующего обжига предварительно механоактивированного сульфидно-сурьмяного концентрата рекомендуется к внедрению в производство в ТА ООО «СП «Анзоб» и «Талко Голд» (Таджикистан).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Majzlan J. Primary and secondary minerals of antimony // Antimony. 2021. P. 17–47. URL: https://doi.org/10.1515/9783110668711-002

2. Chen J., Huang Z. L., Yang R. D., Du L. J., Liao M. Y. Gold and antimony metallogenic relations and ore-forming process of Qinglong Sb (Au) deposit in Youjiang basin, SW China: sul?de trace elements and sulfur isotopes // Geoscience Frontiers. 2021. No. 12. P. 605–623.

3. Вазиров К. В. Особенности положения Кончочского рудного поля в региональных тектонических структурах Зеравшано-Гиссарского сурьмяно-ртутного пояса как фактор его многокомпонентности // Доклады НАНТ. 2007. Т. 50. № 2-8. С. 151–158.

4. Mahlangu T., Gudyanga F. P., Simbi O. J. Reductive leaching of stibnite (Sb_2S_3) flotation concentrate using metallic iron in a hydrochloric acid medium I: Thermodynamics // Hydrometallurgy. 2006. Vol. 84. Iss. 3-4. P. 192–203. URL: https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2006.05.014

5. Мельников С. М., Розловский А. А., Шуклин А. М., Сурьма. М.: Металлургия, 1977. 536 с.

6. Anderson C. G., Nordwick S. M., Krys L. E. Processing of antimony at the Sunshine mine // Residues and Effluents – Processing and Environmental Considerations (eds. R. G. Reddy, W. P. Imrie, P. B. Queneau). San Diego: TMS, 1991. P. 349–366.

7. Рахимов Х. Ш. Оптимальные условия процесса хлорирующего обжига механоактивированных сульфидно-сурьмяных концентратов хлоридом натрия // Вестник ТТУ. 2022. № 1(57). С. 49–55.

8. Медведев А. С., Со Ту, Хамхаш А., Птицын А. М. Вариант переработки сульфидного медного концентрата комбинированным способом // Цветные металлы. 2010. № 1. С. 33–36.

9. Chakravortty M., Srikanth S. Kinetics of salt roasting of chalcopyrite using KC1 // Thermochimica Acta. 2000. Vol. 362. No. 1/2. P. 25–35.

10. Chakravortty M., Srikanth S. Non-isothermal thermoanalytical studies on the salt roasting of chalcopyrite using KC1 // Thermochimica Acta. 2001. Vol. 370. No. 1-2. P. 141–148.

11. Ackerman J. B., Anderson C. G., Nordwick S. M., Krys L. E. Hydrometallurgy at the Sunshine Mine metallurgical complex // Proceedings of the Fourth International Symposium on Hydrometallurgy (eds. J. B. Hiskey, G. W. Warren). Utah, Salt Lake City: AIME-SME, 1993. P. 477–498.

12. Peter Baláž. Extraction of antimony and arsenic from sulphidic concentrates // Acta Montanistica Slovaca. 2000. No. 3. P. 265–268.

13. Кодиров А. А., Рахимов Х. Ш., Бадалов А. Б. Механическая активация сульфидно-сурьмяных концентратов // Доклады НАНТ. 2021. Т. 64. № 7-8. С. 460–465.

14. Лодейщиков В. В. Технология извлечения золота и серебра из упорных руд. Т. 1. Иркутск: Иргиредмет, 1999. 310 с.

15. Рахимов Х. Ш., Кодиров А. А., Бадалов А. Способ переработки механоактивированных сульфидных концентратов: малый пат. № TJ 1206. 2021. 4 с.

16. Рахимов Х. Ш., Кодиров А. А., Бадалов А. Б. Хлорирующий обжиг механоактивированных сульфидных концентратов сурьмы хлоридом натрия // Доклады НАНТ. 2021. Т. 64. № 9-10. С. 583–587.

17. Рахимов Х. Ш., Эшов Б. Б., Кодиров А. А., Бадалов А. Способ переработки сульфидных золотосодержащих сурьмяных концентратов: малый пат. № TJ 2301804. 2023. 8 с.

Поступила в редакцию 16 января 2023 года

Сведения об авторах:

Рахимов Хаеткул Шифокулович – старший преподаватель факультета металлургии Горно-металлургического института Таджикистана. E-mail: hayotrahimi95@mail.ru; https://orcid.org/0009-0009-6246-2917
Эшов Бахтиер Бадалович – доктор технических наук, директор Центра исследования инновационных технологий при НАНТ. E-mail: ishov1967@mail.ru; https://orcid.org/0009-0003-0512-9989
Кадиров Абдурашид Абдурахимович – кандидат технических наук, заведующий кафедрой металлургии Горно-металлургического института Таджикистана. E-mail: abdushka2021@mail.ru; https://orcid.org/0009-0005-4675-8460
Бадалов Абдулхайр Бадалович – доктор химических наук, профессор кафедры общей и неорганической химии Таджикского технического университета им. М. С. Осими, член-корреспондент НАНТ. E-mail:badalovab@ mail.ru; https://orcid.org/0000-0002-0659-0529

DOI: 10.21440/0536-1028-2023-2-43-51

Processing gold-bearing antimony sulfide mechanoactivated concentrate

Khaetkul Sh. Rakhimov[1], Bakhtier B. Eshov[2], Abdurashid A. Kadirov[1], Abdulkhair B. Badalov[3]
[1] Mining Metallurgy Institute of Tajikistan, Buston, the Republic of Tajikistan.
[2] Tajikistan National Academy of Sciences, Dushanbe, the Republic of Tajikistan.
[3] Tajik Technical University named after academician M. S. Osimi, Dushanbe, the Republic of Tajikistan.

Abstract

Introduction. *The solution of important strategic objectives of the Republic of Tajikistan depends on such industries as chemical, mining, processing, and metallurgical. Their smooth functioning is provided by a developed energy and transport industry. Comprehensive mineral processing of abundant minerals located on the territory of the Republic of Tajikistan contributes to socio-economic problems solution and to the development of new production facilities and employment, the transition from the role of a primary producer and middle-stage manufacturer to an end product producer.*

Methods of research. *The expediency of separating antimony and precious metals before cyaniding is obvious. It can be achieved by pyrometallurgy or beneficiation methods. Distillate roasting allows to amply remove antimony from complex ores relatively poor in this metal. However, when processing raw materials rich in antimony, the risk of accretion development in furnaces creates difficulties. At a high temperature (1000–1100 °C), a large amount of gold can combine with oxides and become an oxide. Antimony can be removed by roasting with chlorination. Additional chlorinating reagent makes it possible to increase gold recovery during the subsequent cyanidation of the calcine from 75 to 95–98% compared to conventional oxidative roasting.*

Results and analysis. *This article is the result of a series of experiments and renovations for the technologies of processing gold-bearing antimony sulfide concentrate into the final product. An effective method has been developed for chloridizing roasting of mechanoactivated precious metal containing antimony-gold concentrate with sodium chloride. The optimal roasting mode has been determined, which provides a high yield of antimony and gold compounds, which are technologically easy to process.*

Keywords: *antimony sulfide concentrate; gold content; chloridizing roasting; sodium chloride; comprehensive mineral processing.*

REFERENCES

1. Majzlan J. Primary and secondary minerals of antimony. *Antimony.* 2021; 17–47. Available from: https://doi.org/10.1515/9783110668711-002

2. Chen J., Huang Z. L., Yang R. D., Du L. J., Liao M. Y. Gold and antimony metallogenic relations and ore-forming process of Qinglong Sb (Au) deposit in Youjiang basin, SW China: sulfide trace elements and sulfur isotopes. *Geoscience Frontiers.* 2021; 12: 605–623.

3. Vazirov K. V. Features of position Konchochsk of field in regional tectonic structures Zeravshano-Hissarsk antimonic-mercury zone as it is factor a lot of components. *Doklady NANT = Periodicals of the National Academy of Sciences of Tajikistan.* 2007; 50(2-8): 151–158. (In Russ.)

4. Mahlangu T., Gudyanga F. P., Simbi O. J. Reductive leaching of stibnite (Sb_2S_3) flotation concentrate using metallic iron in a hydrochloric acid medium I: *Thermodynamics. Hydrometallurgy*. 2006; 84(3-4): 192–203. Available from: https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2006.05.014

5. Melnikov S. M., Rozlovskii A. A., Shuklin A. M. *Antimony.* Moscow: Metallurgiia Publishing; 1977. (In Russ.)

6. Anderson C. G., Nordwick S. M., Krys L. E. Processing of antimony at the Sunshine mine. *Residues and Effluents = Processing and Environmental Considerations* (eds. R. G. Reddy, W. P. Imrie, P. B. Queneau). San Diego: TMS, 1991. p. 349–366.

7. Rakhimov Kh. Sh. Optimal conditions for the process of chloridizing roasting of mechanoactivated antimony sulfide concentrates by the sodium chloride. *Vestnik TTU = Bulletin of the TTU*. 2022; 1(57): 49–55. (In Russ.)

8. Medvedev A. S., So Tu, Khamkhash A., Ptitsyn A. M. Variant of processing of the sulfide copper concentrate by mixed method. *Tsvetnye metally = Non-Ferrous Metals Journal.* 2010; 1: 33–36. (In Russ.)

9. Chakravortty M., Srikanth S. Kinetics of salt roasting of chalcopyrite using KC1. *Thermochimica Acta.* 2000; 362(1/2): 25–35.

10. Chakravortty M., Srikanth S. Non-isothermal thermoanalytical studies on the salt roasting of chalcopyrite using KC1. *Thermochimica Acta.* 2001; 370(1-2): 141–148.

11. Ackerman J. B., Anderson C. G., Nordwick S. M., Krys L. E. Hydrometallurgy at the Sunshine Mine metallurgical complex. *Proceedings of the Fourth International Symposium on Hydrometallurgy* (eds. J. B. Hiskey, G. W. Warren). Utah, Salt Lake City: AIME-SME, 1993. p. 477–498.

12. Peter Baláž. Extraction of antimony and arsenic from sulphidic concentrates. *Acta Montanistica Slovaca.* 2000; 3: 265–268.

13. Kodirov A. A., Rakhimov Kh. Sh., Badalov A. B. Mechanical activations of the sulfide-antimony concentrates. *Doklady NANT = Periodicals of the National Academy of Sciences of Tajikistan*. 2021; 64(7-8): 460–465. (In Russ.)

14. Lodeishchikov V. V. *The technology of gold and silver recovery from refractory ore.* Irkutsk: Irgiredmet Publishing; 1999. (In Russ.)

15. Rakhimov Kh. Sh., Kodirov A. A., Badalov A. *A method of processing mechanoactivated sulfide concentrates: minor patent no. TJ 1206.* 2021. (In Russ.)

16. Rakhimov Kh. Sh., Kodirov A. A., Badalov A. B. Chloridizing roasting of mechanoactivated sulfide concentrates by sodium chloride. *Doklady NANT = Periodicals of the National Academy of Sciences of Tajikistan*. 2021; 64(9-10): 583–587. (In Russ.)

17. Rakhimov Kh. Sh., Eshov B. B., Kodirov A. A., Badalov A. *A method of processing sulfide gold-bearing antimony concentrates: minor patent no. TJ 2301804.* 2023. (In Russ.)

Received 16 January 2023

Information about the authors:

Khaetkul Sh. Rakhimov – senior lecturer, Metallurgy Department, Mining Metallurgy Institute of Tajikistan. E-mail: hayotrahimi95@mail.ru; https://orcid.org/0009-0009-6246-2917

Bakhtier B. Eshov – DSc (Engineering), Director of the Center of innovative technologies research of the National Academy of Sciences of Tajikistan. E-mail: ishov1967@mail.ru; https://orcid.org/0009-0003-0512-9989

Abdurashid A. Kadirov – PhD (Engineering), Head of the Metallurgical Department, Mining Metallurgy Institute of Tajikistan. E-mail: abdushka2021@mail.ru; https://orcid.org/0009-0005-4675-8460

Abdulkhair B. Badalov – DSc (Chemical sciences), professor off the Department of General and Inorganic Chemistry, Tajik Technical University named after academician M.S. Osimi, corresponding member of the National Academy of Sciences of Tajikistan. E-mail:badalovab@ mail.ru; https://orcid.org/0000-0002-0659-0529

Для цитирования: Рахимов Х. Ш., Эшов Б. Б., Кадиров А. А., Бадалов А. Б. Переработка золотосодержащего сурьмяно-сульфидного механоактивированного концентрата // Известия вузов. Горный журнал. 2023. № 2. С. 43–51. DOI: 10.21440/0536-1028-2023-2-43-51

For citation: Rakhimov Kh. Sh., Eshov B. B., Kadirov A. A., Badalov A. B. Processing gold-bearing antimony sulfide mechanoactivated concentrate. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = Minerals and Mining Engineering*. 2023; 2: 43–51 (In Russ.). DOI: 10.21440/0536-1028-2023-2-43-51