

КИНЕТИКА И ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ ГАЛЕНИТСОДЕРЖАЩЕГО КОНЦЕНТРАТА КОНИ МАНСУР

© 2020 г. **З.Х. Гайбуллаева, Г.Т. Насимов, А. Шарифов**

Филиал Национального исследовательского технологического университета (НИТУ) «МИСиС»,
г. Душанбе, Респ. Таджикистан

Дангаринский государственный университет, г. Дангара, Респ. Таджикистан

Таджикский технический университет им. академика М.С. Осими, г. Душанбе, Респ. Таджикистан

Статья поступила в редакцию 19.03.20 г., доработана 22.05.20 г., подписана в печать 27.05.20 г.

Аннотация: Приведены характеристики галенитсодержащего концентрата Кони Мансур (Респ. Таджикистан) и результаты кинетических исследований его выщелачивания в растворе азотной кислоты. Основными минералами (фазами) данного концентрата являются галенит (PbS), сфалерит (ZnS), пирит (FeS₂), халькопирит (CuFeS₂), англезит (PbSO₄) и кварц (SiO₂). В исследованиях использована проба концентрата следующего химического состава, мас. %: Pb – 46,56, Zn – 4,01, Fe – 20,55, Cu – 2,03, S – 21,78, Si – 3,78, Al – 1,29. Размер частиц концентрата варьируется в пределах 0,84–148,26 мкм. Оптимальными условиями осуществления азотно-кислотного выщелачивания концентрата являются: температура $t = 55 \pm 65$ °C, концентрация кислоты 1,5–2,0 моль/дм³, время переработки смеси концентрата с кислотой 70–90 мин. Выщелачивание минералов концентрата в растворе кислоты протекает, согласно механизму сокращения поверхности частиц, при температурах 45–65 °C в кинетической области с энергией активации $E = 46,78$ кДж/моль, а при $t < 45$ °C реакция азотно-кислотного выщелачивания концентрата тормозится диффузионным переносом кислоты к поверхности частиц с величиной $E = 12,4$ кДж/моль. Предложена технологическая схема переработки концентрата, основанная на результатах кинетики реакции выщелачивания минералов, и охарактеризованы ее основные стадии, которые не имеют выбросов газов и отходов, экологически чистые, не загрязняют природную среду, выполняются в закрытом циклическом режиме с многократным применением азотной кислоты, что значительно снижает себестоимость процесса выщелачивания концентрата. Образующиеся попутные вещества являются ценным материалом для использования в различных производствах.

Ключевые слова: галенитсодержащий концентрат, выщелачивание, кинетика, температура, раствор азотной кислоты, газы, нитратные соли, электроосаждение, свинец.

Гайбуллаева З.Х. — канд. хим. наук, доцент кафедры «Ресурсосберегающие и энергосберегающие технологии» филиала НИТУ «МИСиС» (734003, Респ. Таджикистан, г. Душанбе, ул. Назаршоева, 7). E-mail: zumratihabib@rambler.ru.

Насимов Г.Т. — рук-ль центра управления международными проектами и аккредитацией Дангаринского государственного университета (735320, Респ. Таджикистан, г. Дангара, ул. Маркази, 25). E-mail: winnasim@gmail.com.

Шарифов А. — докт. техн. наук, профессор кафедры «Технологии химического производства» Таджикского технического университета им. акад. М.С. Осими (734042, Респ. Таджикистан, г. Душанбе, ул. акад. Раджабова, 10). E-mail: Sharifov49@mail.ru.

Для цитирования: Гайбуллаева З.Х., Насимов Г.Т., Шарифов А. Кинетика и технология переработки галенитсодержащего концентрата Кони Мансур. *Известия вузов. Цветная металлургия*. 2020. No. 5. С. 23–32.
DOI: dx.doi.org/10.17073/0021-3438-2020-5-23-32.

Kinetics and technology of galenite-containing Koni Mansur concentrate processing

Z.H. Gaibullaeva, G.T. Nasymov, A. Sharifov

Branch of National University of Science and Technology (NUST) «MISIS», Dushanbe, Republic Tajikistan

Dangara State University, Dangara, Republic Tajikistan

Tajik Technical University, Dushanbe, Republic Tajikistan

Received 19.03.2020, revised 22.05.2020, accepted for publication 27.05.2020

Abstract: This study presents the characteristics of the Koni Mansur (Tajikistan) galena concentrate along with the kinetic study results for its leaching in the nitric acid solution. The main minerals (phases) of this concentrate are galena (PbS), sphalerite (ZnS), pyrite (FeS₂), chalcop-

pyrite (CuFeS_2), anglesite (PbSO_4) and quartz (SiO_2). The study uses a sample of the concentrate with the following chemical composition, wt. %: Pb – 46.56, Zn – 4.01, Fe – 20.55, Cu – 2.03, S – 21.78, Si – 3.78 and Al – 1.29. The concentrate particle size varies between 0.84 and 148.26 μm . Optimal conditions for the concentrate nitric acid leaching are found to be: temperature $t = 55\text{--}65^\circ\text{C}$, acid concentration 1.5–2.0 M and the time of concentrate and acid mixture processing 70–90 min. The leaching of concentrate minerals in the acid solution follows the shrinking core mechanism, at $45\text{--}65^\circ\text{C}$ within the kinetic region and with activation energy $E = 46.78\text{ kJ/mol}$. At temperatures below 45°C , the concentrate nitric acid leaching reaction is inhibited by acid diffusion transfer to the surface of particles with activation energy $E = 12.4\text{ kJ/mol}$. The concentrate processing flow chart is proposed based on the kinetic study results obtained for the mineral leaching process with its main stages described as zero-emission and zero-waste, environmentally friendly, and implemented in a closed cyclic mode with nitric acid regeneration. This results in a significantly cost-effective route for the concentrate leaching process. The resulting associated chemicals are valuable for use in a wide range of industries.

Keywords: galenite concentrate, leaching, kinetics, temperature, nitric acid solution, gases, nitrate salts, electrodeposition, lead.

Gaibullaeva Z.H. — Cand. Sci. (Chem.), associate prof. of the Department «Resource saving and energy saving technologies» of branch of NUST «MISIS» (734003, Republic Tajikistan, Dushanbe, Nazarshoeva str., 7).
E-mail: zumratihabib@rambler.ru.

Nasymov G.T. — head of the Department of international projects and accreditation of Dangara State University (735320, Republic Tajikistan, Dangara, Markazi str., 25). E-mail: winnasim@gmail.com.

Sharifov A. — Dr. Sci. (Eng.), prof. of the Department «Chemistry technology» of Tajik Technical University (734042, Republic Tajikistan, Dushanbe, Acad. Rajabov str., 10). E-mail: Sharifov49@mail.ru.

For citation: Gaibullaeva Z.H., Nasymov G.T., Sharifov A. Kinetics and technology of galenite-containing Koni Mansur concentrate processing. *Izvestiya Vuzov. Tsvetnaya Metallurgiya (Izvestiya. Non-Ferrous Metallurgy)*. 2020. No. 5. P. 23–32 (In Russ.).
DOI: dx.doi.org/10.17073/0021-3438-2020-5-23-32.

Введение

До недавнего времени переработка свинец-содержащего концентрата в основном осуществлялась пирометаллургическими способами [1]. Однако, как отмечается в работе [2], пирометаллургические методы получения свинца и других металлов из состава свинецсодержащих концентратов имеют ряд недостатков, в том числе: многостадийность производства, относительно низкая степень извлечения металла, большая стоимость процессов переработки сырья, экологическая опасность производства вследствие образования большого количества серосодержащих газов, выбрасываемых в атмосферу. Этих недостатков отчасти лишены гидрометаллургические способы переработки минерального сырья, поэтому в последние годы они развиваются и применительно к переработке свинецсодержащих концентратов. В работах [3–9] изложены результаты исследований по растворимости свинецсодержащих минералов и веществ в различных растворителях, изучена кинетика химических процессов и рассмотрены наиболее разработанные гидрометаллургические технологии переработки свинцово-цинковых концентратов.

В работе [2] обобщены основные технологические схемы гидрометаллургической переработки свинцовых концентратов, основанные на использовании серной и соляной кислот. Указана также

перспективность применения гидрометаллургических схем с использованием азотной кислоты для получения свинца и его соединений из свинецсодержащего сырья. Отмечается, что азотная кислота, представляя собой активный окислитель сульфидных минералов, в сочетании с высокой растворимостью нитрата свинца позволяет добиться хороших результатов переработки свинецсодержащего сырья с помощью гидрометаллургических схем. При этом степень извлечения свинца в раствор достигает 92–96 % при степени окисления галенита 98,0–99,5 %, однако такое высокое извлечение возможно за счет применения двухстадийного вскрытия сырья с использованием промежуточной карбонизации кеков.

Наиболее оптимальной технологической схемой химического процесса является та, которая основана на результатах кинетических исследований переработки сырья для получения целевого продукта. В работе [10] изучены основные закономерности кинетики взаимодействия сульфида свинца с водными растворами азотной кислоты и составы образующихся продуктов — на их основе проведен поиск приемлемых способов выщелачивания концентрата для гидрометаллургической технологии. В работе [11] исследованием кинетики процесса выщелачивания полиметаллических сульфидных веществ показано, что порядок реак-

ции по отдельным компонентам в среднем составляет 0,54 и скорость реакции лимитируется кинетическими стадиями. Наиболее существенными факторами, влияющими на скорость реакции, являются тип сульфидов и площадь их поверхности, а также концентрация азотной кислоты.

В Таджикистане расположено крупнейшее месторождение свинцово-цинковой руды — Большой Кони Мансур (чаще его называют Кони Мансур) [12]. Разведанные запасы месторождения составляют около 1 млрд т руды со средним содержанием серебра — 49 г/т, свинца — 0,49 %, цинка — 0,38 %. Минеральный состав руды следующий: кварц, полевые шпаты, серецит, глинистые минералы, сульфиды, преимущественно сфалерит (ZnS) и галенит (PbS). Месторождение Кони Мансур признано специалистами как одно из крупнейших в мире месторождений серебра и свинца. Общее количество запасов серебра в данном месторождении составляет более 50 тыс. т [13].

Ранее нами были проведены работы по определению гранулометрического, минералогического и химического составов и свойств галенитсодержащего концентрата данного месторождения, а также кинетические исследования азотно-кислотного выщелачивания концентрата при широком варьировании температуры, концентрации кислоты, времени перемешивания концентрата с раствором HNO_3 [14–16]. Основываясь на результатах данных исследований, нами разработана комплексная технология гидрометаллургического способа переработки галенитсодержащего концентрата Кони Мансур, утилизации попутных продуктов выщелачивания концентрата и электроосаждения металлов его состава. Ниже изложены характеристики гранулометрического и химического составов концентрата, итоговые результаты кинетических исследований и описаны основные стадии предложенной технологии его переработки.

Характеристики состава галенитсодержащего концентрата Кони Мансур

Свинцово-цинковый полиметаллический концентрат Кони Мансур является порошком с характерной зеленовато-черной окраской с легким желтоватым тоном. На рис. 1 для наглядности изображена проба концентрата.

В исследованиях в основном использована

средняя проба концентрата следующего химического состава, мас. %:

Pb.....	46,56	Cu	2,03
S.....	21,78	Si.....	3,78
Zn	4,01	Al	1,29
Fe.....	20,55		

Распределение частиц концентрата по размерам для исследуемой пробы описывается зависимостью, показанной на рис. 2. Размеры частиц концентрата изменяются в диапазоне 0,84–148,26 мкм, однако преобладающими являются фракции от 23,13 до 121,38 мкм, при этом значения D_{10} , D_{50} и D_{90} составляют соответственно 5,13, 35,28 и 76,32 мкм. Расчетное усредненное значение размера частиц в исследованиях принято 53 мкм.

Свинцово-цинковый концентрат Кони Мансур богат железом и, примерно в одинаковых коли-



Рис. 1. Фотографическое изображение пробы свинцово-цинкового концентрата Кони Мансур

Fig. 1. Photographic image of the Koni Mansur lead-zinc concentrate sample

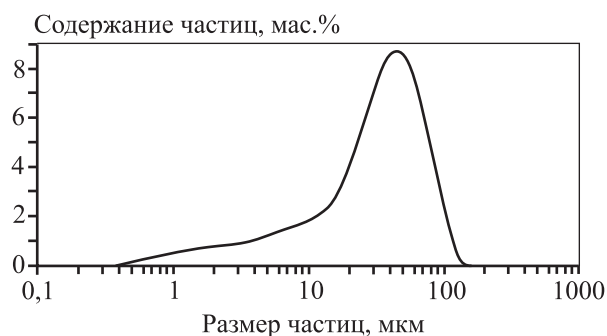


Рис. 2. Распределение частиц концентрата руды месторождения Кони Мансур по размерам

Fig. 2. Particle size distribution of the Koni Mansur deposit ore concentrate

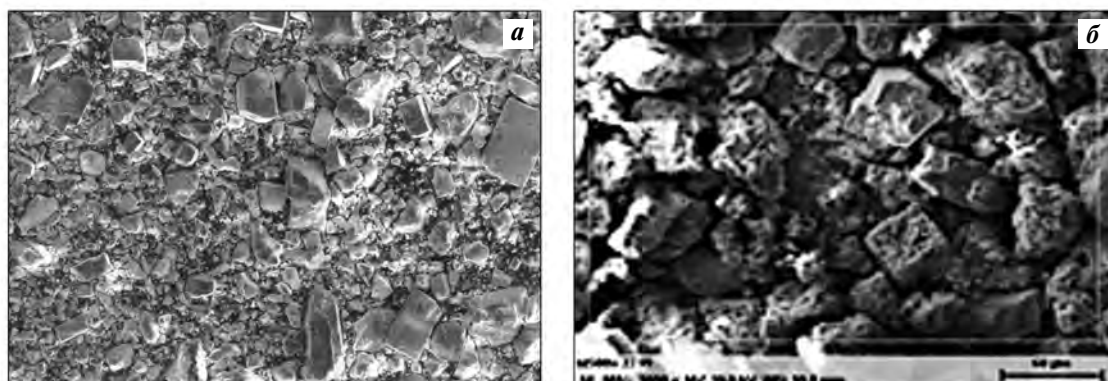


Рис. 3. Электронно-микроскопическое изображение свежей пробы концентрата Кони Мансур (*а*) и его твердого остатка после выщелачивания в растворе азотной кислоты с концентрацией 3,0 моль/дм³ при температуре 65 °С (*б*)

Fig. 3. Electron microscope image of the fresh sample of the Koni Mansur concentrate (*a*) and its solid residue after leaching in the nitric acid solution with a concentration of 3.0 mol/dm³ at 65 °C (*b*)

чества, цинком и кремнием, в нем также присутствует алюминий, но его содержание мало по сравнению с другими металлами. Электронно-микроскопическое изображение пробы концентрата до выщелачивания показывает (рис. 3, *а*), что он обладает более проявленной крупногранулированной структурой. Электронное изображение частиц концентрата после выщелачивания (рис. 3, *б*) свидетельствует об образующихся осадках, состоящих в основном из кремнезема.

Из рис. 3 наглядно видно, как изменилась морфология частиц — более крупные частицы раздробляются, и за их счет возрастает содержание мелких частиц, растворение галенита в кислоте происходит с поверхности частиц.

Кинетические результаты выщелачивания галенитсодержащего концентрата Кони Мансур

Кинетические исследования азотно-кислотного выщелачивания галенитсодержащего концентрата Кони Мансур были проведены при варьированиях температуры — от 25 до 65 °С, концентрации кислоты — от 0,5 до 3,0 моль/дм³ и времени выщелачивания — от 5 до 90 мин [15, 16]. Влияние каждого фактора на кинетику реакции определяли изменением его значения при постоянстве значений других факторов. Индивидуальное и совместное влияние параметров на степень извлечения свинца из концентрата оценивали путем моделирования процесса выщелачивания концентрата с применением метода планирования экспе-

римента или полнофакториального дизайна (Full Factorial Design) со статистическим программным обеспечением MINITAB 15.0 [17].

Частное влияние параметров на степень извлечения свинца составило, %: для температуры — 42,8, концентрации кислоты — 31,9, времени выщелачивания — 15,5; совместное влияние всех параметров — всего 9,3 % при ошибке эксперимента 0,5 %. На рис. 4 приведены сравнительные графики результатов распределения частиц концентрата по размерам до и после выщелачивания.

Сравнение полученных результатов позволило определить вид уравнения кинетики и использо-

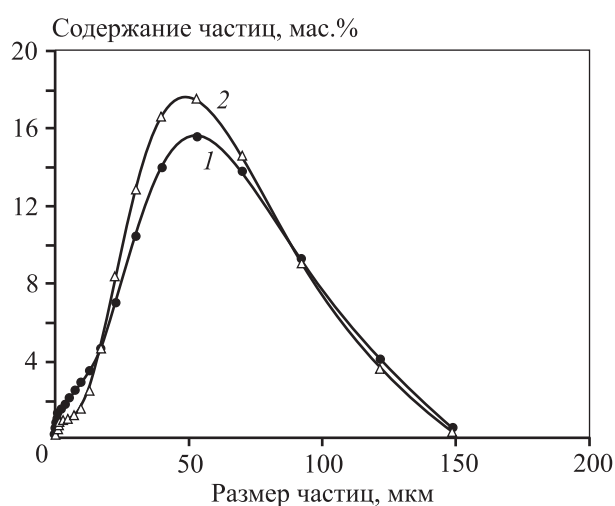


Рис. 4. Распределение по размерам частиц концентрата Кони Мансур до (*1*) и после (*2*) выщелачивания

Fig. 4. Particle size distribution of the Koni Mansur concentrate before (*1*) and after (*2*) leaching

вать механизм сокращения ядра частиц, согласно которому растворение концентрата в кислоте происходит с их поверхности и лимитирующей стадией процесса является кинетика реакции взаимодействия кислоты с галенитом на поверхности каждого слоя частиц. Тогда общая скорость реакции описывается уравнением

$$\bar{r} = -\frac{1}{S} \frac{dN}{d\tau} = bk_s C_A^n, \quad (1)$$

где $\bar{r}$ — скорость реакции, моль/(см²·с); S — площадь поверхности частиц, см²; N — количество реагента в концентрате, моль; τ — время реакции, с; b — стехиометрический коэффициент расхода PbS на 1 моль азотной кислоты; k_s — константа скорости реакции; C_A — концентрация кислоты, моль/дм³; n — порядок реакции.

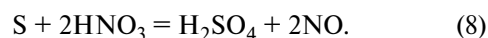
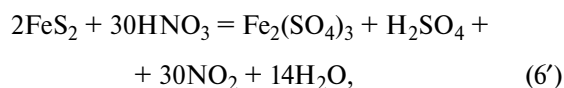
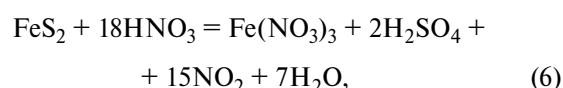
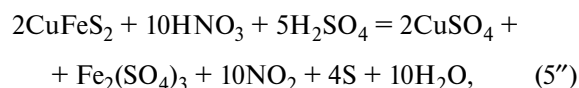
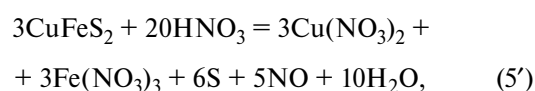
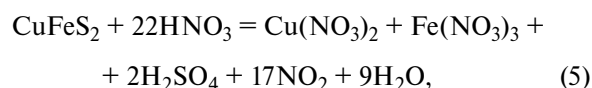
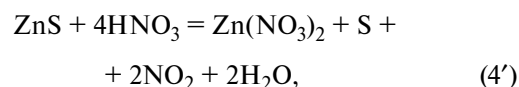
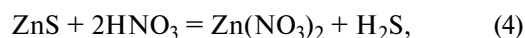
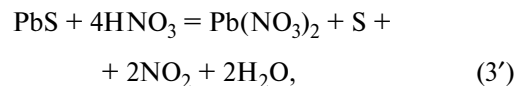
После некоторых преобразований, согласно [15, 17], для частиц концентрата со средним размером 53 мкм, значения $b = 1/2$ и плотности PbS в концентрате Кони Мансур 14786,6 моль/м³ уравнение (1) принимает вид, удобный для расчета времени реакции:

$$\ln \tau = \ln \left(\frac{1,567}{k_s} \right) - n C_A. \quad (2)$$

Согласно кинетическим исследованиям [15], наиболее оптимальный режим переработки галенитсодержащего концентрата обеспечивается при концентрации кислоты 1,5–2,0 моль/дм³, температуре процесса 55–65 °С и времени перемешивания концентрата с кислотой 70–90 мин. При $t = 45 \div 65$ °С реакция выщелачивания минералов концентрата протекает в кинетической области, при этом зависимость константы скорости реакции от температуры имеет прямолинейный характер и подчиняется уравнению Аррениуса с энергией активации $E = 46,8$ кДж/моль. В то же время при $t = 25 \div 45$ °С реакция выщелачивания концентрата тормозится диффузионным переносом кислоты к поверхности частиц с $E = 12,4$ кДж/моль.

Химизм процесса азотно-кислотного выщелачивания галенитсодержащего концентрата Кони Мансур

При выщелачивании вышеприведенного состава галенитсодержащего концентрата раствором азотной кислоты возможно протекание следующих характеристических химических реакций:



Из приведенных реакций следует, что образуется твердожидкогазовая смесь продуктов. При этом нитратные соли металлов, H_2SO_4 , CuSO_4 , $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ переходят в раствор, а H_2S , NO и NO_2 выделяются как газовая смесь, SiO_2 остается нерастворимым в кислоте в виде твердого остатка. Согласно [18, 19], CuSO_4 и $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ являются растворимыми веществами в воде, поэтому они тоже будут в составе нитратных растворов.

Из анализа вещественного состава продуктов выщелачивания следует, что, прежде чем использовать их для получения соответствующих металлов методом электроосаждения, необходимо отделить раствор нитратов металлов от SiO_2 , H_2SO_4 , CuSO_4 , $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$, H_2S и NO_2 , NO . Кремнезем и газы можно отделить от раствора на выходах реактора выщелачивания, однако при этом сульфатсодержащие вещества остаются в растворе с нитратными солями.

Технологические стадии переработки концентрата

Основываясь на результатах кинетики азотно-кислотного выщелачивания галенитсодержащего концентрата Кони Мансур нами предложена комплексная технология его переработки до получения отдельных компонентов его состава. Данную технологию можно разделить на стадии, схематически показанные на рис. 5.

Подготовка концентрата к выщелачиванию. Согласно [17], растворение частиц со средним размером 53 мкм в растворе кислоты протекает в кинетической области. На данной стадии технологической схемы осуществляется дозировка частиц концентрата как по размеру, так и по количеству для дальнейшего их выщелачивания раствором азотной кислоты.

Выщелачивание концентрата. Этот процесс осуществляется в терморегулируемом двухступенчатом реакторе, обеспечивающем температурный режим в пределах 55–65 °С с учетом выделения

тепла вышеуказанных экзотермических реакций. Ступени реактора разделены мембранным фильтром для отделения газов и гомогенного раствора продуктов выщелачивания от нерастворившихся частиц концентрата.

В нижней ступени реактора, куда подается раствор азотной кислоты и фракция концентрата, осуществляется их турбулентное перемешивание в течение до 90 мин при $t = 55 \pm 65$ °С. По мере удаления от центра перемешивания, в верхних слоях смеси устанавливается ламинарный режим с однородным составом раствора продуктов выщелачивания концентрата. Через мембранный фильтр раствор продуктов реакции и газы пропускаются в верхнюю ступень реактора, при этом предотвращается прохождение нерастворившихся частиц концентрата. Рекомендуется изготавливать мембранный фильтр из керамического материала как более устойчивого в растворе азотной кислоты. Размеры пор фильтра должны выбираться таким образом, чтобы пропускать только газы и гомогенный раствор выщелачен-

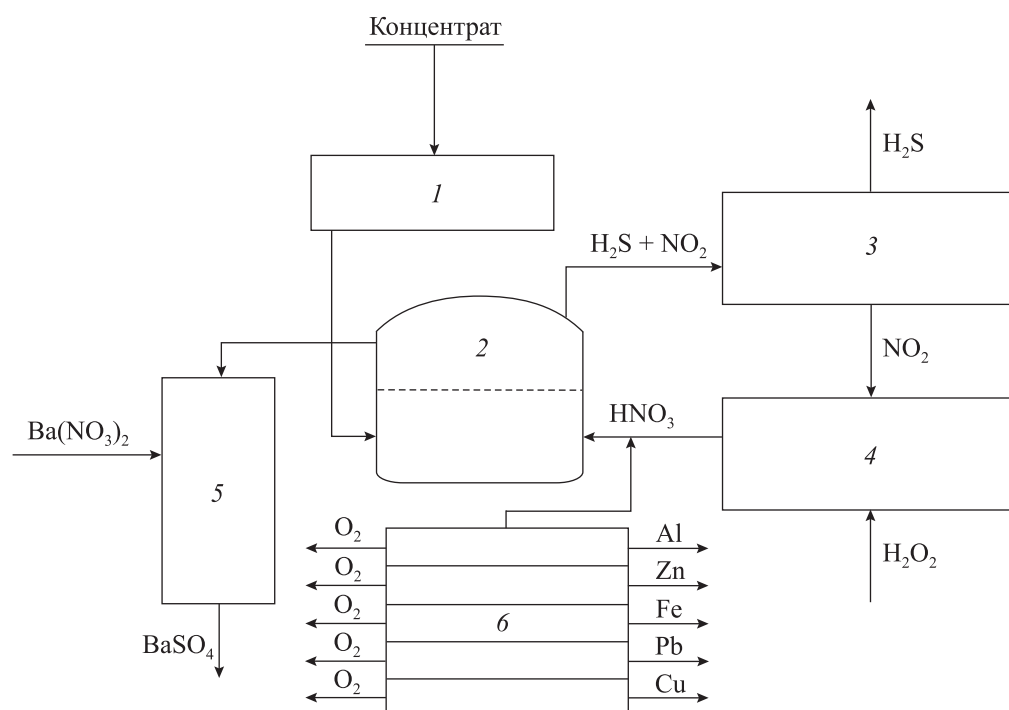


Рис. 5. Технологические стадии переработки галенитсодержащего концентрата

1 – подготовка концентрата, 2 – выщелачивание концентрата, 3 – мембранное разделение газов, 4 – получение азотной кислоты, 5 – осаждение сульфат-иона из раствора нитратных солей, 6 – электроосаждение металлов

Fig. 5. Process stages of galena concentrate processing

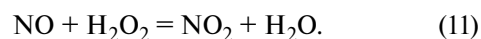
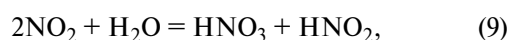
1 – concentrate preparation, 2 – concentrate leaching, 3 – membrane separation of gases, 4 – nitric acid obtaining, 5 – sulfate ion deposition from the solution of nitrate salts, 6 – metal electroplating

ных продуктов из состава концентрата без нерастворившихся частиц.

Из верхней ступени реактора газы направляются в отделение их утилизации, а раствор отводится в отделение осаждения сульфат-иона. Из нижней части реактора выводится для утилизации оставшийся твердый остаток выщелачивания галенитсодержащего концентрата.

Утилизация образующихся газов. Эта стадия осуществляется после мембранного разделения образующихся газов на отдельные газы. В настоящее время мембранный метод разделения газов широко применяется в химической промышленности. Так, например, в работе [20] разработан способ получения мембраны для разделения смесей H_2S и CO_2 . Мембранное разделение газовых смесей позволяет получить сравнительно чистые газы.

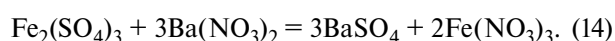
Сероводород (H_2S) используется в производствах серы, серной кислоты или других серосодержащих веществ, а из NO_2 и NO рациональнее получить HNO_3 согласно реакциям



Применение перекиси водорода (H_2O_2) для получения HNO_3 экономически оправданно, поскольку азотная кислота примерно в 2–3 раза дороже H_2O_2 . Образовавшаяся азотная кислота используется для выщелачивания концентрата.

Протекание реакций (9)–(11) осуществляется по циклической схеме в пределах всего технологического процесса переработки галенитсодержащего концентрата.

Осаждение сульфат-иона. Чтобы очистить нитратный раствор от сульфатсодержащих продуктов выщелачивания концентрата, более технологическим является осаждение сульфат-иона раствором нитрата бария — $Ba(NO_3)_2$. При взаимодействии $Ba(NO_3)_2$ с сульфатсодержащими веществами раствора протекают реакции



Сульфат бария ($BaSO_4$) выпадает в осадок, его отделяют от раствора фильтрованием. Для осаж-

дения сульфат-иона 1 кг H_2SO_4 расходуется 2,7 кг $Ba(NO_3)_2$, но при этом образуются 2,4 кг $BaSO_4$ и 1,3 кг HNO_3 . Кислота используется в технологическом цикле, а $BaSO_4$ является ценным химическим веществом.

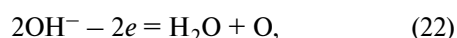
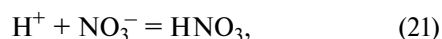
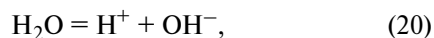
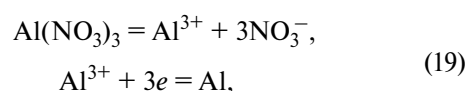
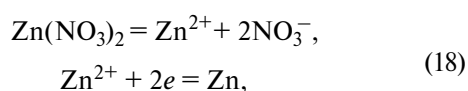
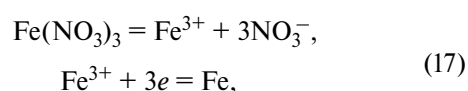
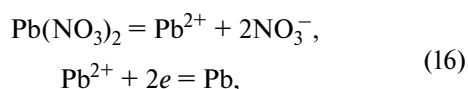
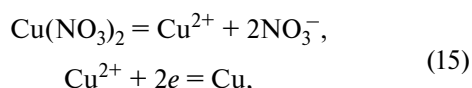
Осуществление реакций (12)–(14) для удаления сульфат-иона из раствора нитратных соединений при переработке галенитсодержащего концентрата приемлемо и по экономическим, и по технологическим соображениям, поскольку $BaSO_4$ выпадает в осадок и его можно будет легко выделить от раствора нитратных солей. Образующаяся при этом азотная кислота также используется в самом производстве, а сульфат бария находит широкое применение в качестве белого пигмента и для других назначений.

Электроосаждение металлов. Очищенный от сульфат-иона и насыщенный азотной кислотой раствор нитратных солей металлов используется для электролитического выделения металлов. Для электроосаждения металлов предлагается применять сеть последовательно расположенных электролизеров с графитовым анодом и металлическим катодом. Каждый электролизер предназначен для выделения определенного металла, поэтому его катод следует делать из того же металла, что выделяется на данном электролизере. Электроосаждение металлов осуществляется по следующему принципу: первым выделяется металл с наибольшим электродным потенциалом, а далее последовательно, согласно порядку уменьшения значений электродного потенциала, проводится осаждение металлов на соответствующих электролизерах с одноименными металлическими катодами. В последнем электролизере на катоде осаждается металл с самым наименьшим электродным потенциалом.

Электродные потенциалы выделяемых металлов расположены в следующем порядке [21]: $Cu = +0,34$ В, $Pb = -0,126$ В, $Fe = -0,44$ В, $Zn = -0,76$ В и $Al = -1,66$ В. Следовательно, согласно этим значениям, восстановление катионов из раствора азотно-кислотного выщелачивания свинцового концентрата Кони Мансур проходит на катодах в соответствующей последовательности: Cu , Pb , Fe , Zn , Al . Чтобы предотвратить образование дендритов металлического свинца, в электролит добавляется до 440 г муравьиной кислоты на 1 т катодного свинца [22].

При электролизе нитратных солей на графитовом аноде образуется газообразный кислород, а в

электролитической среде при взаимодействии ионов водорода H^+ и нитрата NO_3^- образуется азотная кислота, которая будет усиливать электролитический процесс получения соответствующих веществ. В общем протекают следующие электролитические реакции:



Возврат раствора азотной кислоты в реактор выщелачивания галенитсодержащего концентрата. Отработанный раствор азотной кислоты после

выведения из последнего электролизера, очистки от примесей и добавления необходимого количества свежей HNO_3 возвращается в реактор выщелачивания галенитсодержащего концентрата. При этом общий расход кислоты корректируется с учетом количества кислоты, подаваемого от стадии утилизации газов в реактор выщелачивания концентрата.

Заключение

Результаты общего материального баланса процесса переработки галенитсодержащего концентрата Кони Мансур для вышеприведенного состава приведены в таблице. При переработке 1 т концентрата количество образующихся попутных продуктов выщелачивания в 10 раз больше массы металлов. Однако все эти попутные продукты переработки концентрата являются ценными химическими веществами, применяемыми для разных назначений. С учетом использования нитрата бария количество образуемой азотной кислоты больше, чем необходимо для выщелачивания галенитсодержащего концентрата. Это означает, что по предложенной технологии переработки галенитсодержащего концентрата потребность в азотной кислоте, кроме первоначального расхода, будет покрываться за счет образования попутной кислоты, и до 20 % образуемой кислоты будет использовано в других производствах.

Таким образом, предложенная комплексная технологическая схема переработки галенитсодержащего концентрата Кони Мансур, показатели которой основаны на результатах кинетических

Материальный баланс переработки приведенного состава концентрата Кони Мансур

Material balance for the processing of corrected Koni Mansur concentrate composition

№	Расходные материалы		№	Образующиеся материалы	
	Наименование	Количество, кг		Наименование	Количество, кг
1	Концентрат Кони Мансур	1000,0	1	Металлы	638,2
2	Азотная кислота	4040,6	2	Сероводород	83,3
3	Нитрат бария	1652,1	3	Кремнезем	71,2
4	Перекись водорода	815,5	4	Сульфат бария	1475,8
			5	Азотная кислота	4836,6
			6	Кислород	129,3
			7	Вода	273,8
	Всего	7508,2		Всего	7508,2

исследований реакций, позволяет получать все компоненты состава свинцового концентрата в виде чистых веществ, пригодных для использования по их назначениям. Данная технология не имеет выбросов газов и отходов, экологически чистая и не загрязняет природную среду. Она выполняется в закрытом циклическом режиме с многократным применением азотной кислоты, что значительно снижает себестоимость процесса выщелачивания концентрата. Образующиеся попутные вещества являются ценными продуктами для использования в различных производствах.

Литература/References

1. Тяжелые цветные металлы и сплавы: Справочник. Т. 1. М.: ЦНИИЭИцветмет, 1999.
Heavy non-ferrous metals and alloys: Handbook. Vol. 1. Moscow: TsNIIETsvetmet, 1999 (In Russ.).
2. Струнников С.Г., Козьмин Ю.А. Гидрометаллургические схемы переработки свинцовых концентратов. *Химия в интересах устойчивого развития*. 2005. Т. 13. No. 4. С. 483—490.
Strunnikov S.G., Koz'min Yu.A. Hydrometallurgical schemes for the processing of lead concentrates. *Khimiya v interesakh ustoichivogo razvitiya*. 2005. Vol. 13. No. 4. P. 483—490 (In Russ.).
3. Aydoğan S., Erdemoğlu M., Uçar G., Aras A. Kinetics of galena dissolution in nitric acid solutions with hydrogen peroxide. *Hydrometallurgy*. 2007. Vol. 88. P. 52—57.
4. Aydogan S., Aras A., Ucar G., Erdemoglu M. Dissolution kinetics of galena in acetic acid solutions with hydrogen peroxide. *Hydrometallurgy*. 2007. Vol. 89. P. 189—195.
5. Холмогоров А.Г., Пашков Г.Л., Михлина Е.В., Шашина Л.В., Жижжаев А.М. Активация гидрометаллургического вскрытия PbS в азотнокислых растворах. *Химия в интересах устойчивого развития*. 2003. Т. 11. No. 6. С. 889—891.
Kholmogorov A.G., Pashkov G.L., Mikhлина E.V., Shashina L.V., Zhizhaev A.M. PbS activation by hydrometallurgical treatment in nitric acid solution. *Khimiya v interesakh ustoichivogo razvitiya*. 2003. Vol. 11. No. 6. P. 889—891 (In Russ.).
6. Baba A.A., Adekola F.A. A study of dissolution kinetics of a Nigerian galena ore in hydrochloric acid. *J. Saudi Chem. Soc.* 2012. Vol. 16 (4). P. 377—386.
7. Warren G.W., Kim S., Henein H. The effect of chloride ion on the ferric chloride leaching of galena concentrate. *Metall. Trans.* 1987. Vol. 15B. P. 59—69.
8. Dutrizac J.E., Chen T.T. The leaching of galena in ferric sulphate media. *Metall. Mater. Trans. B*. 2004. Vol. 26B (4). P. 61—69.
9. Khalique A., Akram A., Ahmed A.S., Hamid N. Effect of sodium chloride on dissolution of galena in aqueous acid solution. *Pak. J. Sci. Ind. Res.* 2005. No. 48(4). P. 236—239.
10. Михлина Е.В. Взаимодействие сульфида свинца с азотно-кислотными растворами: Дис. ... канд. хим. наук. Красноярск: ИХХТ СО РАН, 2004.
Mikhлина E.V. The interaction of lead sulfide with nitric acid solutions: Dissertation of PhD. Krasnoyarsk: IKhKhT SO RAN, 2004 (In Russ.).
11. Рогожников Д.А. Комплексная гидрометаллургическая технология переработки многокомпонентных сульфидных промпродуктов: Дис. ... канд. техн. наук. Екатеринбург: УрФУ, 2013.
Rogozhnikov D.A. Integrated hydrometallurgical technology for processing multicomponent sulfide intermediate products: Diss. of PhD. Yekaterinburg: Ural Federal University, 2013 (In Russ.).
12. Бортников Н.С., Коваленкер В.А., Сафонов Ю.Г., Тронева Н.В., Лапутина И.П., Раздолина Н.В. Химический состав и условия образования Ag—Cu—Pb—Bi-сульфосолей в Кони Мансурском рудном поле. *Изв. АН СССР. Сер. геол.* 1985. No. 9. С. 65—75.
Bortnikov N.S., Kovalenker V.A., Safonov Yu.G., Troneva N.V., Laputina I.P., Razdolina N.V. Chemical composition and conditions for the formation of Ag—Cu—Pb—Bi-sulfosalts in the Koni Mansur ore field. *Izvestiya Akademii nauk SSSR. Ser. geol.* 1985. No. 9. P. 65—75 (In Russ.).
13. Саидов З.Ш. Состояние и перспектива развития горной и металлургической промышленности Республики Таджикистан. *Горн. журн.* 2003. No. 11. С. 13—16.
Saidov Z.Sh. The state and prospects of development of the mining and metallurgical industries of the Republic of Tajikistan. *Gornyi zhurnal*. 2003. No. 11. P. 13—16 (In Russ.).
14. Гайбуллаева З.Х., Насымов Г.Т. Изучение кинетики выщелачивания свинца из концентратов месторождения Кони Мансур. *Вестн. Тадж. технич. ун-та им. акад. М.С. Осими*. 2015. No. 2(30). С. 47—53.
Gaibullaeva Z.H., Nasymov G.T. Study of the kinetics of lead leaching from concentrates of the Kony Mansur deposit. *Vestnik Tadzhikskogo tekhnicheskogo universiteta imeni akademika M.S. Osimi*. 2015. No. 2(30). P. 47—53 (In Russ.).
15. Гайбуллаева З.Х., Насымов Г.Т. Воздействие температуры на кинетику выщелачивания полиметаллических сульфидных концентратов месторождения Кони Мансур. *Вестн. Тадж. технич. ун-та им. акад.*

- M.C. Осими. Сер. Инж. исследования. 2016. No. 2(34). С. 50—57.*
- Gaibullaeva Z.H., Nasymov G.T. Study of the kinetics of lead leaching from concentrates of the Kony Mansur deposit. Vestnik Tadzhikskogo tekhnicheskogo universiteta imeni akademika M.S. Osimi. 2016. No. 2(34). P. 50—57 (In Russ.).*
16. *Nasymov G., Gaibullaeva Z., Ay N., Smirnova A. Chemical, morphological, and kinetic study of lead extraction from the Koni Mansur polymetallic deposit. Hydrometallurgy. 2019. Vol. 183. P. 159—165.*
17. *Montgomery D.C. Design and analysis of experiments. 8th ed. N.Y.: John Wiley & Sons Inc., 2012.*
18. Copper (II) — sulfate. URL: <https://www.sciencemadness.org/smwiki/index.php> (accessed: 25.12.2019).
19. Ferric-III-sulfate. URL: <https://periodie-tadle.ru/Solubility/index.php> (accessed: 25.12.2019).
20. *Тихомиров Л.А., Крицкая Д.А., Пилугин В.В. Способ получения разделительных мембран: Пат. 2014878 (РФ). 1994.*
- Tikhomirov L.A., Kritskaya D.A., Pilyugin V.V. A method of obtaining separation membranes: Pat. 2014878 (RF). 1994 (In Russ.).*
21. Электролитический ряд напряжений. URL: <https://www.powerinfo.ru/potentials> (дата обращения: 25.12.2019).
- Electrical voltage discharge. URL: <https://www.powerinfo.ru/potentials> (accessed: 25.12.2019) (In Russ.).
22. *Астапчук С.В. Электроэкстракция свинца из азотнокислых электролитов: Дис. ... канд. хим. наук. Красноярск: ИХХТ СО РАН, 2007.*
- Astapchuk S.V. Electroextraction of lead from nitric acid electrolytes: Diss. of PhD. Krasnoyarsk: IKhKhT SO RAN, 2007.*