СОДЕРЖАНИЕ СЕРЫ И УГЛЕРОДА - ОСНОВНОЙ КРИТЕРИЙ УПОРНОСТИ ПЕННОГО ПРОДУКТА ПРОЦЕССА БИООКИСЛЕНИЯ

Эргашев Улугбек Абдурасулович

д-р техн. наук,
Навоийский горно-металлургический комбинат,
Республика Узбекистан, г. Навои

Хамидов Рустам Абдугафурович

ассистент,
Навоийский государственный горный институт,
Республика Узбекистан, г. Навои
E-mail: hamidov-88@mail.ru

Нарзуллаев Жахонгир Норбобо угли

ассистент,
Навоийский государственный горный институт,
Республика Узбекистан, г. Навои
E-mail: njn3306463@gmail.com

SULFUR AND CARBON CONTENT IS THE MAIN CAUSE OF REFRACTORY GOLD IN THE FOAM PRODUCT OF THE BIOOXIDATION PROCESS

Ulugbek Ergashev

Doctor of Technical Sciences,
Navoi Mining and Metallurgical Combine,
Republic of Uzbekistan, Navoi

Rustam Khamidov

Navoi State Mining Institute,
Republic of Uzbekistan, Navoi

Jakhongir Narzullaev

Navoi State Mining Institute,
Republic of Uzbekistan, Navoi

АННОТАЦИЯ

На сегодняшний день проблемы переработки упорных золотосодержащих руд стали основной темой золоторудной промышленности. Для вскрытия упорного золота инкапсулированного в сульфидную матрицу в силу многочисленных достоинств в мире широко применяется технология бактериального окисления. Однако при эксплуатации биоустановок многие золотоизвлекательные предприятия столкнулись с побочным явлением – пенообразование в реакторах биоокисления. Исследования показали, что отдельная переработка пенного продукта показывает себя гораздо эффективнее чем борьба с пенообразованием. В данной статье приведен анализ влияние серы и углерода, содержащихся в пене биоокисления, на извлечение золота при ее сорбционном цианировании.

ABSTRACT

Today, the problems of processing refractory gold-bearing ores have become the main topic of the gold mining industry. Due to its numerous advantages the technology of bacterial oxidation is widely used in the world for the opening of refractory gold encapsulated in a sulfide matrix. However, during the operation of biological plants, many gold mining enterprises encountered a side effect - foaming in biooxidation reactors. Research has shown that processing foam in a single cycle is much more effective than combating foam. This article analyzes the effect of sulfur and carbon contained in biooxidation foam on gold recovery during its sorption cyanidation.

Ключевые слова: пена биоокисления, пеногашение, бактериальное окисление, сорбционное цианирование, пеногасители, упорное золото, пробирный анализ, анализатор LECO.

Keywords: biooxidation foam, defoaming, bacterial oxidation, sorption cyanidation, defoamers, refractory gold, assay analysis, LECO analyzer.

В течении последних десятилетий наблюдается снижение качества минерального сырья разрабатываемых месторождений. В связи с чем, неуклонно растет значение освоения месторождений с низкосортными рудами: бедные, забалансовые, труднообогащаемые, упорные. Во всем мире в промышленном обороте возрастает доля золоторудного минерального сырья, традиционная обработка которой, в силу характера технологической упорности сосредоточенного в ней золота, не дает должного эффекта. Пополнили список такого рода сырья также руды месторождений Кокпатас и Даугызтау, отнесенные к категории особо упорных [1].

Невосприимчивость золотых руд к обычному цианированию определяется его минералогическим составом и способствует снижению извлечения ценного компонента. Руды месторождений Кокпатас и Даугызтау относятся сульфидным. Золото в них находится в тесной ассоциации с арсенопиритом и пиритом. Кроме того, в рудах данных месторождений обнаруживаются углеродистые вещества, являющиеся природным сорбентом. Для вскрытия такого золота на Гидрометаллургическом заводе №3 (ГМЗ-3) ГП «Навоийский горно-металлургический комбинат» (НГМК) с 2008 года применяется технология бактериального окисления [2].

Бактериальное окисление является одним из перспективных и стремительно развивающихся среди процессов раскрытия заблокированного в сульфиды золота, которое применяется на золотоперерабатывающих предприятиях более чем 100 стран, таких как ЮАР, Гана, США, Зимбабве, Узбекистан, Бразилия, Россия, Китай и др. [3,4,5].

Хотя бактериальное окисление обладает целым рядом достоинств одной из основных проблем, с которой столкнулись специалисты ГМЗ-3, является обильное пенообразование в биореакторах. Особенно интенсивно процесс пенообразования происходит в первичных реакторах каждого модуля.

Проблема пенообразования в процессе биоокисления имеет место практически во всех заводах, применяющих технологию биоокисления. Повышение уровня пены снижает полезный рабочий объем реакторов, что приводит к снижению времени процесса и повышению остаточной серы в продукте биоокисления и

в следствие снижает извлечение золота в процессе сорбционного цианирования. Попадание пенного продукта, содержащего большое количество серы и углерода, в сорбционный процесс вместе с биокеком ведет к ряду отрицательных последствий, таких как обильное пенообразование пульпы в аппаратах сорбционного выщелачивания, увеличение расхода цианистого натрия, снижение показателя извлечения золота [6].

Процесс пенообразования при бактериальном окислении концентратов остается малоизученным, однако, проведенные исследования позволяют утверждать, что пена образуется под действием следующих факторов: снижение активности бактерий, изменение минералогии концентрата, слишком высокая дозировка флотационных реагентов и т.п.

Специалистами ГМЗ-3 для подавления выделения пены предпринимались различные подходы, которые включали в себя добавление в перерабатываемую массу реагентов пеногасителей и механическое разрушение пены капельным разбрызгиванием сверху. Однако, данные технологические решения приводили к возникновению новых проблем: дополнительные затраты на реагенты, влияние химического состава реагентов на активность бактерий, дополнительный расход воды, влияющий на плотность пульпы в биореакторах, и т.п. Дальнейшие исследования показали, что выделение пены в отдельный продукт и его отдельная переработка оказывают более положительный эффект по сравнению с методами борьбы с пенообразованием.

С целью изучения структуры пены из реакторов биоокисления с реакторов каждого модуля действующей установки Гидрометаллургического завода №3 ГП НГМК были отобраны усредненные пробы. После промывки проб методом противоточной декантации и их просушки, из проб были взяты образцы для определения химического состава. В ходе исследований был получен следующий химический состав усредненной пробы пенного продукта процесса биоокисления, %: 0,05 Cu; 0,03 Ni; 0,3 As; 0,3 Ti; 0,07 Sb; 17 C; 0,01 Cr; 0,01 Zn. Содержание золота и основных компонентов (сера и углерод) в пробах каждого из реакторов, оказывающих влияние на процесс сорбционного цианирования, представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Химический анализ пенного продукта каждого реактора на содержание золота, серы и углерода

Наименование пробы	Содержание элементов в пробах				
	Au, г/т	S _{общ} , %	S _s , %	S _{общ} , %	S _{орг} , %
Реактор – I, II, III	44,3	15,29	10,99	7,09	5,78
Реактор – 4	183,5	18,04	11,94	17,26	15,48
Реактор – 5	230,2	15,76	10,01	18,14	16,44
Реактор – 6	286,5	10,57	6,83	20,29	19,7

Содержание основного ценного компонента золота было определено методом пробирного анализа. Было установлено, что содержание золота в первичных реакторах составляет около 44 г/т и его значение растет в сторону последнего реактора, где

содержание золота достигает 286 г/т. Содержания серы и углерода были определены путем сжигания на анализаторе LECO, а их значения составляют 10-15 % и 7-20 % соответственно.

Рисунок 1. Закономерность содержания золота и углерода в пене биоокисления

Рисунок 2. Закономерность содержания золота и серы в пене биоокисления

Как видно из графика на рисунке 1 рост содержания золота в пене биореакторов пропорционален росту содержания углерода. Учитывая, что матрица пенного продукта является ультратонкодисперсной микронаносистемой, а для руд месторождений Кокпатас и Даугызтау характерно наличие ультратонкого золота, то можно сделать вывод, что углеродистое вещество в составе пены является основным носителем тонковкрапленного и сульфидного золота.

На рисунке 2 видно, что содержание серы в пенном продукте, в отличие от золота и углерода, уменьшается. Это свидетельствует о том, что с увеличением времени нахождения пены в реакторах, сера подвергается окислению со стороны бактерий.

Между тем, сокращение содержания серы не оказывает влияния на концентрирование золота. Из вышеотмеченного следует, что сульфидное и тонкое золото вкраплено в углеродистое вещество и по мере нахождения пены в реакторах сульфидные минералы подвергаются окислению высвобождая золото.

Для того, чтобы узнать максимально возможное извлечение золота без какой-либо предварительной обработки и степень технологической упорности пенного продукта, отобранные образцы проб были подвергнуты интенсивному сорбционному цианированию. Результаты сорбционного цианирования представлены в таблице 2.

Таблица 2.

Извлечение золота в процессе сорбционного цианирования

Наименование пробы	Реактор – I, II, III	Реактор – IV	Реактор – V	Реактор – VI
Извлечение, %	63,65	76,38	77,54	80,09

Из полученных результатов наблюдается рост извлечения золота из пены от первичных реакторов к последнему, 63,65% и 80,09% соответственно. Что, в принципе, вполне ожидаемо, так как отношение $Au:S$ в первичных реакторах приблизительно равно 3:1, а в шестом реакторе этот показатель равен 27:1. Несколько иная картина вырисовывается с углеродом. Отношение $Au:C$ в первичных реакторах в пределах 6,5:1, а в последнем реакторе 14:1.

Хотя доля углеродистого вещества растет, отношение $Au:C$ увеличилось всего лишь в два раза (6,5:1 против 14:1, в первичных реакторах и в шестом реакторе соответственно), тогда как уменьшение содержания серы по отношению к золоту составляет 9

раз (3:1 против 27:1, в первичных реакторах и в шестом реакторе соответственно).

Таким образом, полученные результаты по сорбционному цианированию пены биореакторов свидетельствуют о том, что увеличение извлечения золота из пены от 63,65% до 80,09% в сторону последнего реактора по большей мере произошло благодаря окислению серы. Тем не менее лучших результатов по извлечению золота сорбционным цианированием можно будет достичь за счет окисления сконцентрированного в пене углерода и недоокисленной серы. Поэтому дальнейшую переработку пены биоокисления в условиях ГМЗ-3 предлагается проводить с использованием окислительного обжига.

Список литературы:

1. Санакулов К.С., Эргашев У.А. Современное состояние и направления развития технологии биоокисления для переработки сульфидных руд на ГМЗ-3. // Горный вестник Узбекистана. – Навои, 2012 г. – №1. – С. 48-54.
2. Хамидов Р.А., Нарзуллаев Ж.Н. Пути совершенствования технологии переработки руд месторождений Кокпатас и Даугызтау на ГМЗ-3. // Сборник научных статей по итогам III международной научной конференции: Приоритетные направления инновационной деятельности в промышленности. – Казань, 30-31 марта 2021 г. – С. 131-132.
3. Санакулов К.С., Эргашев У.А. Теория и практика освоения переработки золотосодержащих упорных руд кызылкумов. – Т.: ГП «НИИМР», 2014 г. – С. 248 – 252.
4. Санакулов К., Эргашев У.А., Хамидов Р.А. Современные способы переработки упорных золотосодержащих руд. // Горный вестник Узбекистана. – Навои, 2020 г. – № 4. – С. 45-49.
5. Хамидов Р.А., Нарзуллаев Ж.Н. Перспектива отдельной переработки пенного продукта процесса бактериального окисления золотосодержащих руд. // Материалы X Международной научно-практической конференции: Современные тенденции и инновации в науке и производстве. – Кузбасс, 22 апреля 2021г.
6. Санакулов К.С., Эргашев У.А., Гафуров К.У. Флотационное обогащение при бактериальном окислении сульфидных золотосодержащих минералов. // Горный журнал. – Москва, 2017 г. – №1 (специальный выпуск) – С. 58-63.