

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)
Химический факультет
Кафедра неорганической химии



ДОПУСТИТЬ К ПРЕДСТАВЛЕНИЮ ГЭК
Руководитель ООП
д-р физ.-мат. наук, профессор
И.А. Курзина
« 18 » мая 2022 г.

НАУЧНЫЙ ДОКЛАД

об основных результатах подготовленной научно – квалификационной работы
(диссертации)

Реакционная способность и процессы комплексообразования пиритного «невидимого»
золота при воздействии серосодержащих лигандов.

по основной образовательной программе подготовки научно-педагогических кадров в
аспирантуре
направление подготовки 04.06.01 – Химические науки

Медведев Родион

Научный руководитель
д-р хим. наук, доцент
В.И. Сачков

подпись
« 18 » мая 2022 г.

Автор работы
аспирант
Р. Медведев

подпись
« 18 » мая 2022 г.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

Ежегодное увеличение объема вовлечения бедного, упорного золотосодержащего сырья и ужесточение требований к степени извлечения золота увеличивает интерес к возможным вариантам селективных растворителей.

В настоящее время основным методом извлечения золота является цианистый процесс [1–4]. Известно [2, 5–9], что метод цианирования, кроме экологической опасности имеет целый ряд других недостатков: высокое значение рН процесса, большая длительность, высокий расход реагента.

Техногенные месторождения, такие как хвосты флотации медно-цинковых колчеданных руд является перспективным и доступным источником благородных металлов, сопоставимых по содержанию и запасам золота, серебра с рудными месторождениями. В то же время, они являются экологически опасными объектами [10–11]. К настоящему времени количество неутилизированных отходов в Российской Федерации оценивается приблизительно в 82 млрд. тонн [11]. Хвосты относятся к технологически «упорному» для цианирования виду ресурсов из-за высокого содержания «невидимого» золота.

Таким образом, разработка растворителей на основе серосодержащих солей, а также различных их смесей с другими реагентами-активаторами для извлечения золота из сульфидного упорного сырья актуально в настоящее время. В гетерогенной системе Au – FeS₂ – водный раствор серосодержащих лигандов существует множество обратимых реакций, в которых потребляется, либо образуется S₂O₃²⁻, SO₃²⁻, HS⁻ и др. Некоторые из них вносят значительный вклад в синтезе серосодержащих лигандов *in situ*. При наличии нескольких лигандов в растворе, форма нахождения и степень перехода золота в раствор будут зависеть от множества факторов: концентрация комплексообразующих компонентов, рН раствора, ионная сила, длительность процесса, температура и др. Данные о влиянии этих параметров на равновесие золота в подобных

системах позволят оптимизировать процесс извлечения золота из упорного сульфидного сырья. По этой причине изучение химического равновесия золота в гетерогенной системе Au – FeS₂ – водный раствор серосодержащих лигандов представляет фундаментальный научный интерес и практическую значимость.

Степень разработанности темы исследования

Проблема изучения упорных золотосодержащих руд и разработка методов извлечения из них золота исследовалась многими авторами. Например, в СССР и далее в Российской Федерации наиболее известны работы Плаксина И.Н., Абрамова А.А., Лодейщикова В.В., Чантурии В.А. и др. Среди зарубежных выделяются: Godain A.M., O'Connor C., Cilliers J.J. Анализ научно-технической и патентной литературы свидетельствует об интенсивных исследованиях, направленных на изучение реакционной способности и процессов комплексообразования золота с галогенид-ионами, аминами, сульфит-ионами, тиосульфат-ионами и некоторыми аминокислотами. Кроме того, существует небольшое количество работ по изучению устойчивости других комплексов золота. Недостаточно работ посвящено исследованию равновесий образования комплексов золота, но существует много информации о спектрах, свойствах, а также об отдельных процессах с участием комплексных соединений золота. Имеются данные о закономерностях поведения золота и серебра в сульфит-тиосульфатных растворах, однако при этом не изучена форма нахождения золота в растворе (Гудков А.С, 2010). Имеются немногочисленные работы о смешанных сульфидных комплексах золота, например Харламова В.Ю., 2018.

Предмет исследования: Форма нахождения золота в техногенном пиритовом сырье, его активность и реакционная способность в гетерогенной системе Au – FeS₂ – водный раствор серосодержащих лигандов.

Цель работы: разработка физико-химических основ технологии извлечения пиритного «невидимого» золота в среде, содержащей набор SO_3^{2-} , SO_4^{2-} - лигандов при изменении их концентраций и pH раствора.

Согласно поставленной цели, необходимо решить следующие научные **задачи:**

1. Разработать модель равновесного состава многокомпонентной гетерогенной системы $\text{FeS}_2 - \text{Au} - \text{раствор}$, содержащий ионы SO_3^{2-} , SO_4^{2-} в зависимости от концентраций, соотношения компонентов и pH раствора.

2. Исследовать зависимость степени извлечения пиритного «невидимого» золота от концентраций, соотношения SO_3^{2-} , SO_4^{2-} и pH раствора.

3. Методом полного факторного эксперимента построить экспериментально-статистическую модель процесса растворения пиритового золота в растворах с серосодержащими лигандами и установить факторы доминирующего влияния на степень перехода золота в раствор.

Научная новизна работы состоит в том, что:

1. Разработана термодинамическая модель оценки равновесных составов многокомпонентной гетерогенной системы $\text{FeS}_2 - \text{Au} - \text{раствор}$, содержащий ионы SO_3^{2-} , SO_4^{2-} , основанная на расчетах по методу простых итераций.
2. Установлено что, реакционная способность раствора по отношению к золоту определяется формой нахождения в нём серосодержащих ионов и увеличивается по мере увеличения содержания неассоциированного SO_3^{2-} .
3. На основании анализа экспериментально-статистической модели процесса растворения «пиритного» золота при взаимодействии с раствором, содержащем ионы SO_3^{2-} , SO_4^{2-} показано, что функция извлечения золота имеет максимум.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения работы исследованы форма, содержание и свойства техногенного пиритового сырья. При этом показано:

- в сырье преобладает пирит (FeS_2), сырье представляет собой кусковой материал крупностью –1 мм;

- содержание золота в исходной пробе составляет 1,15 г/т, содержание серебра – 13,6 г/т;

- золото не обнаруживается методом энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии, что говорит о тонком вкраплении в состав пиритового зерна.

Разработана термодинамическая модель, описывающая ионное равновесие в гетерогенной системе $\text{Au} - \text{FeS}_2 - \text{водный раствор серосодержащих лигандов}$, посредством которой методом простых итераций показано, что

- при увеличении рН равновесие сдвигается в сторону образования сульфитного комплекса золота $[\text{Au}(\text{SO}_3)_2]^{3-}$ и сульфидного комплекса золота $[\text{AuS}]^-$;

- общая концентрация золота в растворе находится на уровне $8 \cdot 10^{-4}$ моль/л.;

- концентрация SO_4^{2-} практически не влияет на равновесие в системе, но увеличивает ионную силу раствора;

- при увеличении концентрации SO_3^{2-} наблюдается смещение равновесия в сторону образования тиосульфатного комплекса $[\text{Au}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]^{3-}$, а золото преимущественно находится в виде $[\text{Au}(\text{SO}_3)_2]^{3-}$. Суммарное содержание золота в растворе увеличивается;

- показано, что извлечение золота в раствор лимитируется растворимостью кислорода в солевом растворе.

На основании серии экспериментальных исследований разработана экспериментально-статистическая модель процесса растворения пиритового золота в растворах с серосодержащими лигандами, при этом установлено, что:

- по отношению к золоту, химическая активность растворов, содержащих ионы SO_3^{2-} и SO_4^{2-} в области $\text{pH}=6 - 10$ определяется формой нахождения в нём ионов серы;

- в области концентраций $[\text{SO}_3^{2-}] = 0,25-0,3$ и $[\text{SO}_4^{2-}] = 0,22 -0,26$ моль/л, растворимость золота определяется концентрацией свободных сульфит-ионов;

- немонотонный характер кинетических зависимостей процесса растворения «невидимого» пиритного золота обусловлен сложным характером адсорбционного и окислительно-восстановительного равновесия в гетерогенной системе $\text{Au} - \text{FeS}_2 - \text{водный раствор серосодержащих лигандов}$.

- увеличение pH в области от 6 до 10 способствует переходу золота в исходное пиритовое сырье.

Результаты диссертации опубликованы в работах:

В изданиях, индексируемых SCOPUS:

1. Medvedev R.O., Sachkov V I, Nefedov R A. Method for extraction of gold and silver from technogenic pyrite raw materials // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 597. doi:10.1088/1757-899X/597/1/012053.
2. Kolpakova N.A., Sabitova Z.K., Sachkov V.I., Nefedov R.A., Medvedev R.O., Orlov V.V. Determination of Au(III) and Ag(I) in Carbonaceous Shales and Pyrites by Stripping Voltammetry // Minerals. 2019. Vol. 9. Issue 2. doi:10.3390/min9020078.
3. Daibova, E.B., Biorecovery of au-containing ore slates and pyrite wastes / Daibova, E.B., Lushchaeva, I.V., Sachkov, V.I., Karakchieva, N.I., Orlov, V.V., Medvedev, R.O., Nefedov, R.A., Shplis, O.N., Sodnam, N.I. // Minerals – 2019. – Vol. 9. - Issue 10.

В изданиях, индексируемых РИНЦ:

1. Медведев Р., Орлов В.В., Амеличкин И. Технология переработки пиритовых руд // Материалы, технологии и техника для освоения Арктики и Сибири: Сборник тезисов III международной конференции, 25-28 сентября 2019 года, г. Томск. – Томск: Томский государственный университет, 2019. – 65 с.: ил.
2. Медведев Р., Орлов В.В. Способ выделения золота и серебра из техногенного пиритового сырья // Перспективы развития фундаментальных наук : сборник научных трудов XV Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, г. Томск, 23-26 апреля 2019 г. : в 7 т. — Томск : Издательский Дом Томского государственного университета, 2019. — Т. 2 : Химия. — С. 153-155.
3. Медведев Р., Орлов В.В. Переработка упорных золотосодержащих пиритовых техногенных отходов // Двадцать пятая Всероссийская научная конференция студентов-физиков и молодых ученых, г. Севастополь, 19-26 апреля 2019 г. Екатеринбург – Ростов-на-Дону-Крым: издательство АСФ России. 2019. – С. 323-324

4. Медведев Р., Сабитова Ж. Определение благородных металлов в углистых сланцах методом инверсионной вольтамперометрии // Химия и химическая технология в XXI веке : материалы XX Международной научно-практической конференции имени профессора Л. П. Кулёва студентов и молодых ученых, 20–23 мая 2019 г., г. Томск. — Томск: Изд-во ТПУ, 2019. — С. 272-273.

5. Медведев Р., Орлов В.В. Способ выделения золота и серебра из техногенного пиритового сырья // Перспективы развития фундаментальных наук. Сборник научных трудов XVI Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. В 7-ми томах. Под редакцией И.А. Курзиной, Г.А. Вороновой. 2019. С. 153-155.

Отчет о проверке на заимствования №1



Автор: Медведев Родион

Проверяющий: Медведев Родион

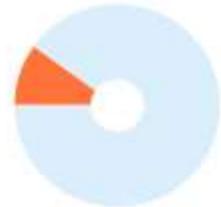
Отчет предоставлен сервисом «Антиплагиат» - <http://users.antiplagiat.ru>

ИНФОРМАЦИЯ О ДОКУМЕНТЕ

№ документа: 13
Начало загрузки: 18.05.2022 19:53:43
Длительность загрузки: 00:00:01
Имя исходного файла: НД Медведев
18.05.pdf
Название документа: НД Медведев 18.05
Размер текста: 31 кБ
Символов в тексте: 31886
Слов в тексте: 3697
Число предложений: 312

ИНФОРМАЦИЯ ОБ ОТЧЕТЕ

Начало проверки: 18.05.2022 19:53:45
Длительность проверки: 00:00:13
Комментарий: не указано
Модули поиска: Интернет Free



ЗАЙМСТВОВАНИЯ
9,73%

САМОЦИТИРОВАНИЯ
0%

ЦИТИРОВАНИЕ
0%

ОРИГИНАЛЬНОСТЬ
80,27%

В соответствии с п. 3.2 «*Регламента размещения текстов выпускных квалификационных работ в электронной библиотеке Научной библиотеки ТГУ*» выпускная квалификационная работа аспиранта: Научный доклад об основных результатах подготовленной научно – квалификационной работы (диссертации) «Реакционная способность и процессы комплексообразования пиритного «невидимого» золота при воздействии серосодержащих лигандов» Медведев Р. размещается в репозитории с изъятием некоторых разделов в соответствии с решением правообладателя.

Руководитель ООП



И.А. Курзина