

GLYCINE LEACHING KINETICS OF CHALCOCITE IN ALKALINE MEDIUM IN THE PRESENCE OF HYDROGEN PEROXIDE

Nurtazina N.D.^{1}, Azhigulova R.N.¹, Uvarov N.F.²*

¹*Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan*

²*Institute of Solid State Chemistry and Mechanochemistry of SB RAS, Novosibirsk, Russia*

E-mail: nurtazina.nn@gmail.com

Abstract. The leaching of copper-containing raw materials with environmentally friendly reagents under near-environmental conditions is an important problem of modern hydrometallurgy. In this regard this article presents kinetic regularities of leaching of sulfide mineral – chalcocite (Cu₂S), using the simplest amino acid – glycine (Gly) in the alkaline medium at 25 °C. It is assumed that the leaching is mainly due to the complexation of copper (II) glycinate. The influence of different parameters on the amino acid leaching process such as the concentrations of glycine, sodium hydroxide, hydrogen peroxide, the reagent ratio and duration of the experiment have been studied. The results of atomic absorption analysis has indicated a significant increasing of the copper recovery efficiency from chalcocite, when the oxidant hydrogen peroxide is added to the alkaline glycine solution system. After 30 minutes the degree of copper recovery has reached 30.79 % in the system “Cu₂S-0.1M Gly-0.1M NaOH-0.1M H₂O₂”, while without hydrogen peroxide about 4 % of copper has been leached. The research results allow one to recommend glycine as a promising reagent for the hydrometallurgical copper production process.

Key words: leaching, oxidation, kinetics, chalcocite, glycine, lysine, hydrogen peroxide, alkaline medium

Nurtazina Nargiza Dosmurzayevna PhD student, e-mail: nurtazina.nn@gmail.com, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9216-607X>

Azhigulova Ryskul Ninilovna Candidate of Chemical Sciences, Senior Lecturer, e-mail: razhigulova@gmail.com, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4498-8439>

Uvarov Nikolai Favstovich Doctor of Chemical Sciences, Professor, e-mail: uvarov1956@gmail.com, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8209-7533>

КИНЕТИКА ГЛИЦИНОВОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ ХАЛЬКОЗИНА В ЩЕЛОЧНОЙ СРЕДЕ В ПРИСУТСТВИИ ПЕРЕКИСИ ВОДОРОДА

Нуртазина Н.Д.^{1}, Ажигулова Р.Н.¹, Уваров Н.Ф.²*

¹*Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан*

²*Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, Новосибирск, Россия*

E-mail: nurtazina.nn@gmail.com

Citation: Nurtazina N.D., Azhigulova R.N., Uvarov N.F. Glycine leaching kinetics of chalcocite in alkaline medium in the presence of hydrogen peroxide. *Chem.J.Kaz.*, **2022**, 2(78), 16-25 (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.51580/2022-2/2710-1185.62>

Резюме: Выщелачивание медьсодержащего сырья экологически безопасными реагентами в условиях близких к условиям окружающей среды является важной проблемой современной гидрометаллургии. В связи с этим в данной статье представлены кинетические закономерности выщелачивания сульфидного минерала – халькозина (Cu_2S) с использованием простейшей аминокислоты – глицина (Gly) в щелочной среде при температуре 25 °С. Считается, что выщелачивание в большей мере происходит за счет комплексообразования глицилатов меди (II). Было изучено влияние различных параметров на процесс аминокислотного выщелачивания такие как концентрации глицина, гидроксида натрия, перекиси водорода, соотношение реагентов и продолжительность опыта. Результаты атомно-абсорбционного анализа указали на значительный рост эффективности извлечения меди из халькозина в случае добавления окислителя – перекиси водорода в систему щелочного раствора глицина. В течение 30 минут степень извлечения меди достигла 30.79 % в системе « Cu_2S -0.1M Gly-0.1M NaOH-0.1M H_2O_2 », в то время как без перекиси водорода было выщелочено около 4 % меди. Результаты проведенных исследований позволяют рекомендовать глицин в качестве перспективного реагента при гидрометаллургическом способе получения меди.

Ключевые слова: выщелачивание, окисление, кинетика, халькозин, глицин, лизин, перекись водорода, щелочная среда

<i>Нуртазина Наргиза Досмурзаевна</i>	<i>PhD докторант</i>
<i>Ажигулова Рыскуль Ниниловна</i>	<i>к.х.н., старший преподаватель</i>
<i>Уваров Николай Фавстович</i>	<i>д.х.н., профессор</i>

1. Введение

Халькозин является вторичным сульфидным минералом меди. Добыча данного минерала считается выгодной из-за высокого содержания в нем меди (79.8 %). В последнее время интерес представляют гидрометаллургические способы получения металлов из руд, концентратов, продуктов обогащения и минералов [1-2]. Быстрое и перспективное развитие гидрометаллургии связано с тем, что в большинстве случаев она обеспечивает высокий коэффициент использования сырья и выделения ценных компонентов, требует меньших энергетических и экономических затрат, а также снижает загрязнение окружающей среды вредными веществами в сравнении с пирометаллургическим методом [3]. В гидрометаллургическом процессе важнейшей стадией является выщелачивание, в котором руды, концентраты, полупродукты и отходы производства обрабатываются водными растворами химических реагентов с последующим выделением из раствора металла и его соединений. За последние пять лет внимание исследователей ориентированы на использование органических соединений в качестве растворяющих реагентов в процессах выщелачивания [4-6]. Органические реагенты обладают повышенной селективностью за счет способности образовывать с металлами комплексные соединения, а также характеризуются незначительной коррозионной активностью. Так простейшая аминокислота – глицин стал перспективным реагентом для выщелачивания меди [7-9]. Известно, что аминокислоты в зависимости от pH среды могут находиться в форме катиона в кислой среде, цвиттер-иона в нейтральной среде и в виде аниона в щелочной среде [10]. Область высоких значений pH (>9.77) способствует взаимодействию положительных ионов меди с

отрицательными ионами глицина. В связи с этим процесс выщелачивания халькозина целесообразно проводить в щелочной среде, в которой доминирует форма глицинат-анионов, образующие с ионами меди (II) устойчивые хелатные комплексы глицинатов меди ($\log \beta_2=15.15$) [11] (схема). Эта реакция комплексообразования может быть усилена путем добавления перекиси водорода в качестве окислителя.

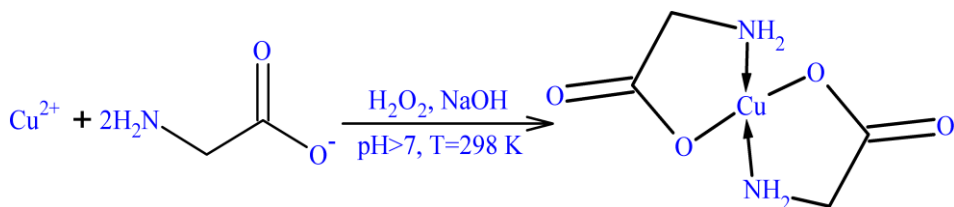


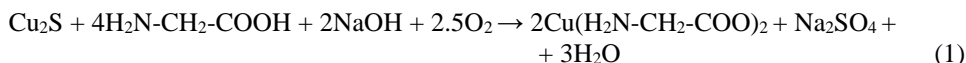
Схема – Образование хелатного комплекса глицината меди (II).

На сегодняшний день достаточно мало исследований по выщелачиванию халькозина в щелочных растворах глицина. Кроме того, результаты глицинового выщелачивания халькозина в присутствии перекиси водорода вовсе отсутствуют. Вследствие этого настоящее исследование было направлено на изучение кинетики выщелачивания меди из твердой фазы халькозина в раствор с использованием щелочных растворов глицина и перекиси водорода при атмосферном давлении и температуре.

2. Результаты и обсуждение

2.1. Выщелачивание халькозина в нейтральной, кислой и щелочной средах. Об эффективности использования глицин-щелочной среды свидетельствуют кинетические кривые выщелачивания халькозина в четырех различных системах растворителей – «1М NaOH», «1М Gly», «1М Gly-0.1М HCl» и «1М Gly-1М NaOH» (рисунок 1). При увеличении продолжительности опыта концентрация извлеченных ионов меди из твердой фазы в раствор увеличивается во всех системах. Из графика видно, что раствор гидроксида натрия практически не растворяет халькозин, тогда как глицин в нейтральной среде извлекает до 29.74 мг/л меди в течение 30 мин. В случае растворения халькозина в системе «1М Gly-0.1М HCl» концентрация меди в растворе составила 15.32 мг/л при 30 мин. Извлечение меди в кислотном растворе глицина оказалось ниже, чем в нейтральном и щелочном растворах глицина. Это обусловлено тем, что при $\text{pH} < 2.35$ глицин существует в форме катиона глициния ($^+\text{H}_3\text{N}-\text{CH}_2-\text{COOH}$), который не взаимодействует с ионами Cu^{2+} . А при выщелачивании халькозина в системе «1М Gly-1М NaOH» за 30 мин было извлечено 59.25 мг/л меди, это в 3.87 раз больше, чем в системе с кислотой. Вышеописанные результаты подтверждают результативность применения глицина в сочетании с

гидроксидом натрия для поддержания высоких значений pH в системе, при которых имеется достаточное количество глицинат-анионов, вступающих в реакцию комплексообразования глицинатов меди (II). Процесс растворения халькозина в присутствии глицина в щелочной среде можно представить следующим уравнением:



2.2. *Влияние концентрационного соотношения глицин:щелочь.* Для определения оптимальной глицин-щелочной системы выщелачивание халькозина проводили при различных концентрационных соотношениях Gly:NaOH в течение 10 мин. В системе «Cu₂S-Gly-1M NaOH» (рисунок 2, слева) сильно заметно, что эффективность извлечения меди из минерала изменяется. С ростом концентрации глицина от 0.1 М до 1 М в системе увеличивается количество глицинат-анионов при необходимом для этого значении pH в связи с чем растет концентрация извлеченных ионов меди в растворе. А в случае использовании 0.1 М NaOH (рисунок 2, справа) при таком же увеличении концентрации глицина происходит незначительное падение концентрации меди в растворе.

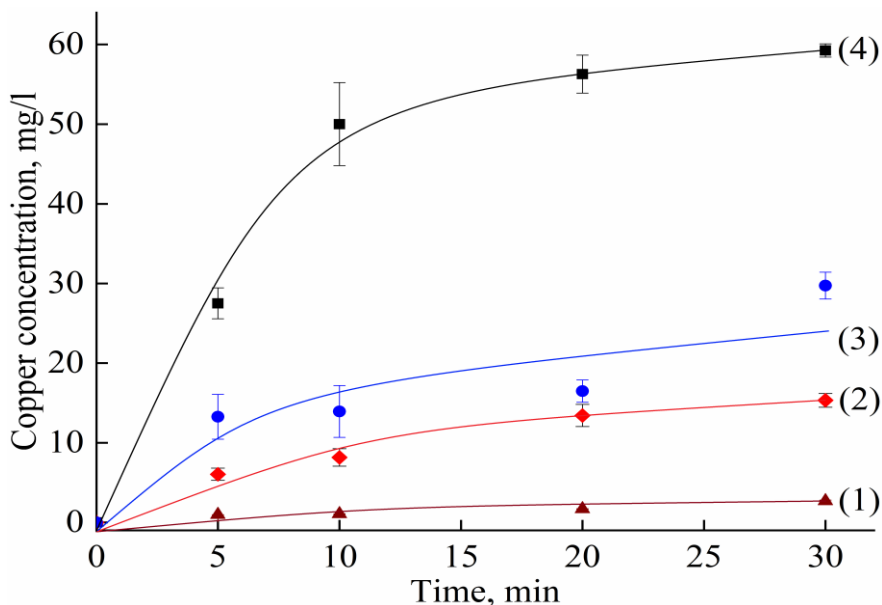


Рисунок 1 – Зависимость концентрации ионов меди в различных системах выщелачивателей: (1) – «1M NaOH», (2) – «1M Gly-0.1M HCl», (3) – «1M Gly», (4) – «1M Gly-1M NaOH» от продолжительности процесса.

В результате было установлено, что соотношение Gly к NaOH как 1:1 или избыток глицина относительно щелочи (Gly:NaOH = 5:1, 7.5:1, 10:1) являются наиболее действенными при выщелачивании халькозина. А при избытке гидроксида натрия в сравнении с глицином (Gly:NaOH = 1:1.3, 1:2, 1:10) эффективность выщелачивания меди падает от 50.00 мг/л до 9.31 мг/л. Предположено это связано с падением растворимости атмосферного кислорода при повышении количества OH-ионов в системе растворителя «Gly-1M NaOH» по сравнению в системе «Gly-0.1M NaOH» в 1.45 раз [12]. Считается, что атмосферный кислород вносит определенный вклад как окислитель. Таким образом при использовании глицина с 1 M NaOH, во-первых, падает эффективность атмосферного кислорода как окислителя, а во-вторых, содержится недостаточное количество глицинат-анионов из-за избытка щелочи. Следует отметить, что 10-кратный избыток глицина в отношении щелочи также может привести к падению эффективности выщелачивания. Очевидно, это связано с уменьшением значений рН из-за избытка глицина. Аналогичная закономерность была получена ранее в работе по выщелачиванию борнита в глицин-щелочной среде [13]. С учетом результатов на рисунке 2 эффективной растворяющей системой является «0.1M Gly-0.1M NaOH».

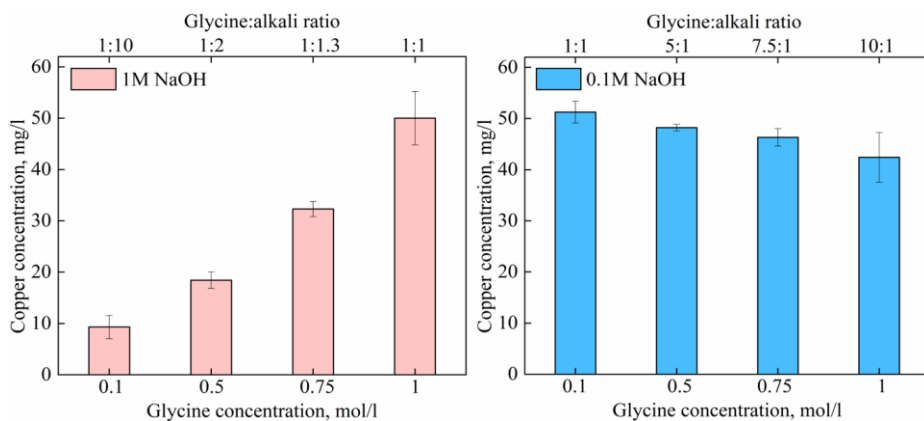
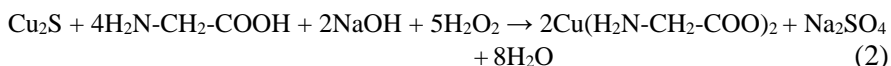


Рисунок 2 – Зависимость концентрации извлеченных ионов меди в системе «Cu₂S-Gly-NaOH» от концентрации глицина и соотношения глицин:щелочь.

2.3. Влияние окислителя – перекиси водорода. На рисунке 3 отражено влияние перекиси водорода на выщелачивание халькозина в щелочном растворе глицина при продолжительности опыта 10 мин. Результаты показали, что концентрация извлеченной меди возросла более чем 6.57 раз по сравнению с опытами без использования пероксида. Другими словами увеличение концентрации окислителя от 0.05 M до 0.5 M приводит к заметному росту концентрации ионов меди в выщелачивающем растворе от

336.54 мг/л до 546.75 мг/л соответственно. Такое улучшение кинетики выщелачивания скорее всего обусловлено тем, что в щелочных условиях путем катализа медно-аминокислотного комплекса по реакции Фентона образуются гидроксильные радикалы, которые являются более мощными окислителями, чем пероксид водорода [14]. Следовательно образование этих гидроксильных радикалов увеличивает растворение меди в системе «Cu₂S-0.1M Gly-0.1M NaOH-H₂O₂». Растворение халькозина в щелочном растворе глицина и перекиси водорода протекает по следующей возможной реакции:



2.4. *Выщелачивание халькозина щелочными растворами глицина и лизина.* После подтверждения эффективности использования глицина в качестве выщелачивающего агента была рассмотрена другая аминокислота – лизин (Lys). Выбор лизина обоснован тем, что он, как и глицин является относительно недорогим реагентом, а также обладает хорошей растворимостью в воде. На рисунке 4 представлены кинетические кривые растворения халькозина в присутствии глицина и лизина, по которым можно сравнить растворяющие способности двух аминокислот.

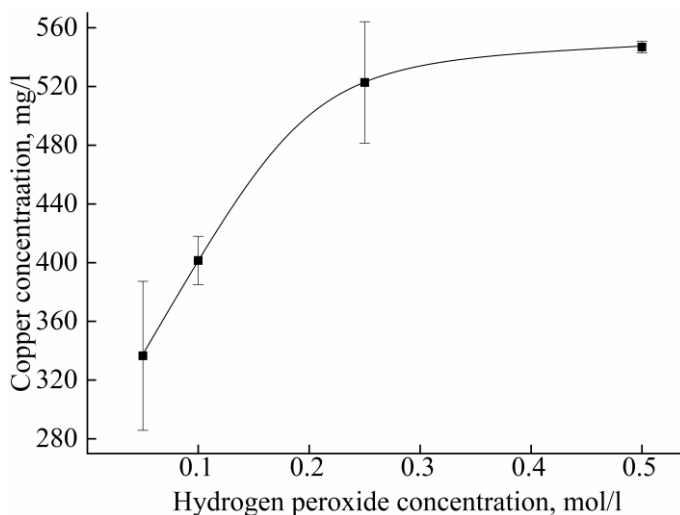


Рисунок 3 – Зависимость концентрации извлеченных ионов меди в системе «Cu₂S-0.1M Gly-0.1M NaOH-H₂O₂» от концентрации перекиси водорода.

При использовании системы «0.1M Lys-0.1M NaOH-0.1M H₂O₂» значения концентраций ионов меди в растворе ниже, чем в системе «0.1M Gly-0.1M NaOH-0.1M H₂O₂». Возможно, это связано с тем, что лизин по кислотно-основным свойствам относится к основным аминокислотам, несущим

положительный заряд, препятствующий комплексообразованию лизинатов меди (II).

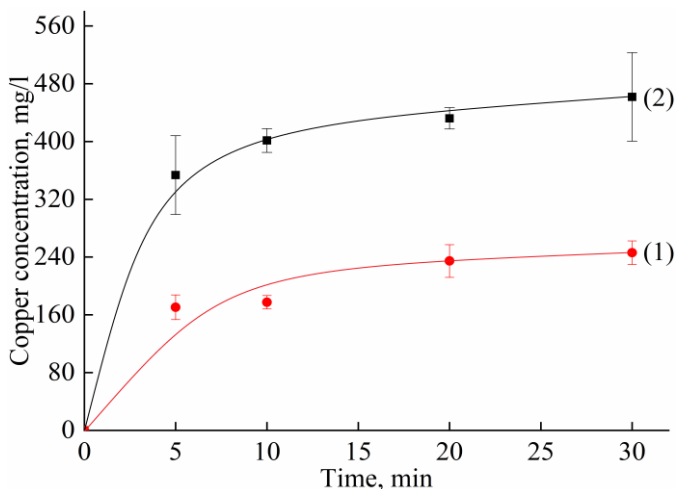


Рисунок 4 – Зависимость концентрации ионов меди в системе щелочных растворов лизина (1) и глицина (2) от продолжительности процесса.

3. Экспериментальная часть

3.1. *Материалы.* В данном исследовании использован мономинеральный образец сульфидного минерала меди – халькозина (Cu_2S) Джеккаганского месторождения со средним размером частиц 60 мкм. Чистоту минерала анализировали на сканирующем электронном микроскопе (SEM, Quanta 200 FEI Company, США), оснащенным микрозондовой приставкой EDAX и она составила 94 % (75.00 % меди, 13.91 % серы). В качестве выщелачивающего агента были использованы аминокислоты – глицин (Gly, «экстра чистый») и лизин (Lys, 99 %) компании TITAN BIOTECH LTD (Индия). Такой выбор обоснован тем, что они обладают хорошей комплексообразующей способностью, являются доступными, нетоксичными и нелетучими реагентами. Для поддержания щелочной среды в систему растворяющего реагента был добавлен гидроксид натрия («технический», ОАО «РЕАКТИВ», Россия). Перекись водорода («медицинская», ТОО «Фирма Скат», Казахстан) выступала в роли окислителя в процессе выщелачивания.

3.2. *Исследование выщелачивания.* Выщелачивание халькозина проводили на установке с двумя интенсивно встряхиваемыми стеклянными термостатированными реакторами типа «каталитическая утка» вместимостью 150 мл при 25 °С. В реакционный сосуд вносили порошкообразный минерал массой 100 мг и нагревали реакторы до температуры опыта. Затем приливали 50 мл растворяющего реагента с

известной концентрацией и соответствующей температурой. Далее реакторы закрывали и включали лабораторный автотрансформатор для встряхивания реакционных сосудов и регулирования скорости перемешивания реакционной смеси 150÷160 об./мин в течение определенного промежутка времени. Температуру поддерживали с точностью ± 0.5 °C с помощью термостата-циркулятора LOIP LT-100. После опыта растворы из реакторов фильтровали. Методом атомно-абсорбционной спектроскопии (Shimadzu AA-6200, Япония) анализировали фильтраты на наличие ионов меди, перешедших из твердой фазы в раствор.

4. Заключение

По результатам исследования можно сделать вывод, что эффективность глицинового выщелачивания халькозина зависит от нескольких факторов. Во-первых, процесс необходимо проводить только в щелочной среде, во-вторых, должно соблюдаться концентрационное соотношение «1:1» между глицином и гидроксидом натрия в системе. В-третьих, добавление перекиси водорода позволяет в разы интенсифицировать извлечение ионов меди из твердой фазы халькозина в раствор в сравнении с результатами без использования окислителя. Таким образом, в работе показана возможность использования аминокислот, в частности глицина и лизина как перспективных, экологически безопасных растворяющих реагентов и перекиси водорода в качестве окислителя для выщелачивания меди из халькозина Джезказганского месторождения в условиях близких к условиям окружающей среды.

Финансирование: Исследование не получало никаких грантов от финансирующих организаций государственного, коммерческого или некоммерческого секторов.

Благодарности: Авторы благодарят сотрудника лаборатории анализа металлов ЦФХМА КазНУ им. аль-Фараби А.К. Оразалина и к.х.н., доцента кафедры физической химии Санкт-Петербургского государственного технологического института О.В. Проскурину за оказанную помощь при проведении атомно-абсорбционного исследования и при анализе поверхности минерала методом SEM-EDS соответственно.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии финансового или личного конфликта интересов, который мог бы повлиять на работу, представленную в статье.

СУТЕГІ АСҚЫН ТОТЫҒЫНЫҢ ҚАТЫСУЫМЕН СІЛТІЛІ ОРТАДА ХАЛЬКОЗИНДІ ГЛИЦИНМЕН ШАЙМАЛАУ КИНЕТИКАСЫ

Нуртазина Н.Д.^{1}, Ажигулова Р.Н.¹, Уваров Н.Ф.²*

¹Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

²РФА СБ қатты дене химиясы және механохимия институты, Новосибирск, Ресей

E-mail: nurtazina.nn@gmail.com

Түйіндеме. Құрамында мыс бар шикізатты экологиялық қауіпсіз реагенттермен қоршаған орта жағдайларына жакын жағдайларда шаймалау қазіргі гидрометаллургияның маңызды мәселесі болып табылады. Осыған байланысты, бұл мақалада 25 °C температурада сілтілі ортада қарапайым амин қышқылы – глицинді (Gly) қолдану арқылы сульфидті минерал – халькозинді (Cu₂S)

шаймалаудың кинетикалық заңдылықтары келтірілген. Шаймалау көбінесе мыс (II) глицинаттарының комплекс түзуіне байланысты болады деп есептеледі. Глицин, натрий гидроксиді, сутегі асқын тотығы концентрациялары, реагенттердің қатынасы және тәжірибенің ұзақтығы сияқты әртүрлі параметрлердің аминқышқылдық шаймалау процесіне әсері зерттелді. Атомдық-абсорбциялық талдау нәтижелері глициннің сілтілі ерітінді жүйесіне тотықтырғыш – сутегі асқын тотығы қосылған жағдайда халькозиннен мыс алу тиімділігінің едәуір артқанын көрсетті. 30 минут ішінде мыс алу дәрежесі «Cu₂S-0.1M Gly-0.1M NaOH-0.1M H₂O₂» жүйесінде 30.79 %-ға жетті, ал мыстың 4 %-ға жуығы сутегі асқын тотығынсыз шайылды. Жүргізілген зерттеулердің нәтижелері глицинді мыс алудың гидрометаллургиялық әдісінде перспективті реагент ретінде ұсынуға мүмкіндік береді.

Түйінді сөздер: шаймалау, тотығу, кинетика, халькозин, глицин, лизин, сутегі асқын тотығы, сілтілі орта

Нуртазина Наргиза Досмурзаевна PhD докторант

Ажизулова Рыскуль Ниниловна х.э.к., аға оқытушы

Уваров Николай Фавстович х.э.д., профессор

Список литературы

1. Coban O., Baslayici S., Bugdayci M., Acma M.E. Hydrometallurgical nickel and cobalt production from lateritic ores: Optimization and comparison of atmospheric pressure leaching and pug-roast-leaching processes. *Acta Metall. Slovaca*, **2021**, 27, No. 1, 17–22. DOI: 10.36547/ams.27.1.740
2. Fedotov P.K., Senchenko A.E., Fedotov K.V., Burdonov A.E. Hydrometallurgical processing of gold-containing ore and its enrichment products. *Metallurgist*, **2021**, 65, No. 1–2, 214–227. DOI: 10.1007/s11015-021-01150-9
3. Bhargava S.K., Pownceby M.I., Ram R. Hydrometallurgy. *Metals*, **2016**, 6, No. 5, 17–19. DOI: 10.3390/met6050122
4. Ghomi M.A., Mozammel M., Moghanni H., Shahkar L. Atmospheric leaching of chalcopyrite in the presence of some polar organic reagents: A comparative study and optimization. *Hydrometallurgy*, **2019**, No. 189, 105120. DOI: 10.1016/j.hydromet.2019.105120
5. Rahimi G., Rastegar S.O., Rahmani Chianeh F., Gu T. Ultrasound-assisted leaching of vanadium from fly ash using lemon juice organic acids. *RSC Adv.*, **2020**, 10, No. 3, 1685–1696. DOI: 10.1039/c9ra09325g
6. Carlesi C., Harris R.C., Abbott A.P., Jenkin G.R.T. Chemical Dissolution of Chalcopyrite Concentrate in Choline Chloride Ethylene Glycol Deep Eutectic Solvent. *Minerals*, **2022**, 12, No. 1, 65. DOI: 10.3390/min12010065
7. Azadi M.R., Karrech A., Elchalakani M., Attar M., Microfluidic study of sustainable gold leaching using a glycine solution. *Hydrometallurgy*, **2019**, No. 185, 186–193. DOI: 10.1016/j.hydromet.2019.02.009
8. Wu H., Feng Y., Huang W., Li H., Liao S. The role of glycine in the ammonium thiocyanate leaching of gold. *Hydrometallurgy*, **2019**, No. 185, 111–116. DOI: 10.1016/j.hydromet.2019.01.019
9. Tanda B.C., Oraby E.A., Eksteen J.J. Kinetics of malachite leaching in alkaline glycine solutions. *Miner. Process. Extr. Metall.*, **2018**, 130, No. 1, 16–24. DOI: 10.1080/25726641.2018.1505211
10. Sheikhan L., Akhond M., Absalan G. Specification of zwitterionic or non-zwitterionic structures of amphoteric compounds by using ionic liquids. *Acta Chim. Slov.*, **2020**, 67, No. 2, 415–420. DOI: 10.17344/ACSI.2019.5366
11. Azadi M.R., Karrech A., Attar M., Elchalakani M. Data analysis and estimation of thermodynamic properties of aqueous monovalent metal-glycinate the complexes. *Fluid Phase Equilib.*, **2019**, 480, 25–40. DOI: 10.1016/j.fluid.2018.10.002
12. Groisman A.S., Khomutov N.E. Solubility of oxygen in electrolyte solutions. *Russ. Chem. Rev.*, **1990**, 59, No. 8, 707–727. DOI: 10.1070/rc1990v059n08abeh003550
13. Нуртазина Н.Д., Сыздыкова Л.И. Кинетика выщелачивания борнита в присутствии глицина. *Вестник КазННТУ*, **2021**, 143, № 4, 117–126. DOI: <https://doi.org/10.51301/vest.su.2021.i4.15>

14. Hariharaputhiran M., Zhang J., Ramarajan S., Keleher J.J., Li Y., Babu S.V. Hydroxyl Radical Formation in H₂O₂-Amino Acid Mixtures and Chemical Mechanical Polishing of Copper. *J. Electrochem. Soc.*, **2000**, *147*, No. 10, 3820–3826. DOI: 10.1149/1.1393979

References

1. Coban O., Baslayici S., Bugdayci M., Acma M.E. Hydrometallurgical nickel and cobalt production from lateritic ores: Optimization and comparison of atmospheric pressure leaching and pug-roast-leaching processes. *Acta Metall. Slovaca*, **2021**, *27*, No. 1, 17–22. DOI: 10.36547/ams.27.1.740
2. Fedotov P.K., Senchenko A.E., Fedotov K.V., Burdonov A.E. Hydrometallurgical processing of gold-containing ore and its enrichment products. *Metallurgist*, **2021**, *65*, No. 1–2, 214–227. DOI: 10.1007/s11015-021-01150-9
3. Bhargava S.K., Pownceby M.I., Ram R. Hydrometallurgy. *Metals*, **2016**, *6*, No. 5, 17–19. DOI: 10.3390/met6050122
4. Ghomi M.A., Mozammel M., Moghanni H., Shahkar L. Atmospheric leaching of chalcopyrite in the presence of some polar organic reagents: A comparative study and optimization. *Hydrometallurgy*, **2019**, No. 189, 105120. DOI: 10.1016/j.hydromet.2019.105120
5. Rahimi G., Rastegar S.O., Rahmani Chianeh F., Gu T. Ultrasound-assisted leaching of vanadium from fly ash using lemon juice organic acids. *RSC Adv.*, **2020**, *10*, No. 3, 1685–1696. DOI: 10.1039/c9ra09325g
6. Carlesi C., Harris R.C., Abbott A.P., Jenkin G.R.T. Chemical Dissolution of Chalcopyrite Concentrate in Choline Chloride Ethylene Glycol Deep Eutectic Solvent. *Minerals*, **2022**, *12*, No. 1, 65. DOI: 10.3390/min12010065
7. Azadi M.R., Karrech A., Elchalakani M., Attar M., Microfluidic study of sustainable gold leaching using glycine solution. *Hydrometallurgy*, **2019**, No. 185, 186–193. DOI: 10.1016/j.hydromet.2019.02.009
8. Wu H., Feng Y., Huang W., Li H., Liao S. The role of glycine in the ammonium thiocyanate leaching of gold. *Hydrometallurgy*, **2019**, No. 185, 111–116. DOI: 10.1016/j.hydromet.2019.01.019
9. Tanda B.C., Oraby E.A., Eksteen J.J. Kinetics of malachite leaching in alkaline glycine solutions. *Miner. Process. Extr. Metall.*, **2018**, *130*, No. 1, 16–24. DOI: 10.1080/25726641.2018.1505211
10. Sheikhan L., Akhond M., Absalan G. Specification of zwitterionic or non-zwitterionic structures of amphoteric compounds by using ionic liquids. *Acta Chim. Slov.*, **2020**, *67*, No. 2, 415–420. DOI: 10.17344/ACSI.2019.5366
11. Azadi M.R., Karrech A., Attar M., Elchalakani M. Data analysis and estimation of thermodynamic properties of aqueous monovalent metal-glycinate complexes. *Fluid Phase Equilib.*, **2019**, *480*, 25–40. DOI: 10.1016/j.fluid.2018.10.002
12. Groisman A.S., Khomutov N.E. Solubility of oxygen in electrolyte solutions. *Russ. Chem. Rev.*, **1990**, *59*, No. 8, 707–727. DOI: 10.1070/rc1990v059n08abeh003550
13. Nurtazina N.D., Syzdykova L.I. Kinetika vshchelachivaniya bornita v prisutstvii glicina [Kinetics of bornite leaching in the presence of glycine]. *VESTNIK KAZNRTU*, **2021**, *143*, No. 4, 117–126. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.51301/vest.su.2021.i4.15>
14. Hariharaputhiran M., Zhang J., Ramarajan S., Keleher J.J., Li Y., Babu S.V. Hydroxyl Radical Formation in H₂O₂-Amino Acid Mixtures and Chemical Mechanical Polishing of Copper. *J. Electrochem. Soc.*, **2000**, *147*, No. 10, 3820–3826. DOI: 10.1149/1.1393979