

• ХИМИКО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 622.234.42

<https://doi.org/10.51301/vest.su.2021.i4.15>

Н.Д. Нуртазина*, Л.И. Сыздыкова

Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан

*e-mail: nurtazina.nn@gmail.com

КИНЕТИКА ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ БОРНИТА В ПРИСУТСТВИИ ГЛИЦИНА

Аннотация. Совершенствование гидрометаллургических способов переработки сульфидных медьсодержащих природных материалов является актуальной задачей, обусловленной усложняющимися экологическими проблемами, обеднением и усложнением состава перерабатываемого сырья. В работе исследованы кинетические закономерности процесса извлечения меди в раствор из твердой фазы борнита щелочными растворами глицина и перекиси водорода. Кинетика изучена при комнатной температуре и концентрации перекиси водорода 0.1 М. Концентрация глицина варьировалась от 0.1 до 1.0 М. В изученном интервале рН среды (8÷11) глицин существует в виде глицинат-анионов, вступающих с ионами Cu^{2+} в реакцию комплексообразования с образованием устойчивого глицината меди (II), что и способствует эффективному извлечению меди из минерала в раствор. Введение в систему окислителя – перекиси водорода заметно повысило извлечение ионов Cu^{2+} в раствор. Степень извлечения меди из борнита за первые 10 минут варьировалась в интервале от 29 до 37 %. Результаты проведенных исследований позволяют рассматривать щелочные растворы глицина и перекиси водорода в качестве перспективного растворяющего реагента для выщелачивания меди из сульфидного минерального сырья.

Ключевые слова: медь, сульфидный минерал, борнит, глицин, щелочной раствор глицина, гидроксид натрия, перекись водорода, извлечение, окисление, кинетика.

Введение. Одной из основных задач современной гидрометаллургии является разработка экономически выгодного процесса извлечения металлов из твердой фазы минералов, концентратов, руд и продуктов обогащения в раствор, основанного на применении реагентов, обеспечивающих эффективность, селективность и экологичность такого процесса. Основными аспектами при выборе растворителя являются его химическая активность воздействия на сырье, способность к регенерации, токсичность, доступность и экономически выгодная стоимость, а также коррозионная агрессивность по отношению к материалу аппаратуры.

Разнообразие химических реагентов в качестве растворителей в процессах выщелачивания сульфидных минералов меди велико, но в последнее время интерес представляют органические соединения, а вместе с ними смеси неорганических и органических веществ [1-4]. Органические растворители являются дорогими и зачастую трудно регенерируемыми реагентами, но они обладают повышенной селективностью за счет способности образовывать с металлами комплексные соединения, а также характеризуются незначительной коррозионной активностью [5].

В качестве перспективных и альтернативных органических комплексообразующих растворителей, исследователи в области гидрометаллургии рассматривают аминокислоты. К ним относятся глицин, метионин, цистеин, аспарагиновая кислота, фенилаланин и другие аминокислоты. Авторы [6-10] показали, что аминокислоты имеют возможность стать

эффективными, экологически безопасными и конкурентоспособными растворяющими реагентами наравне с неорганическими кислотами и щелочами в процессах гидрохимического извлечения ионов меди из сульфидных минералов в раствор.

Настоящее исследование по извлечению ионов меди (II) из твердой фазы борнита в раствор было проведено при атмосферном давлении и комнатной температуре (25 °С) в щелочных растворах глицина и перекиси водорода, последний в качестве окислителя. Цель глицинового растворения может быть достигнута благодаря сильному комплексообразованию меди с глицином [11], так как в щелочных условиях большая часть глицина существует в виде глицинат-аниона ($\text{H}_2\text{N}-\text{CH}_2-\text{COO}^-$):



Экспериментальная часть.

Материалы исследования.

Мономинеральные образцы сульфидного минерала меди – борнита (Cu_5FeS_4) Джезказганского месторождения с чистотой (90÷95)% были подвергнуты сухому измельчению в агатовой ступке до порошкообразного состояния и просеяны с выделением фракций размером -250 меш. Система растворяющего реагента состояла из простейшей аминокислоты – глицина ($\text{H}_2\text{N}-\text{CH}_2-\text{COOH}$, Gly) марки «экстра чистый» компании TITAN BIOTECH LTD (Индия), гидроксида натрия (NaOH) марки «технический» компании ОАО «РЕАКТИВ» (Россия) и перекиси водорода (H_2O_2). Выбор такого растворителя как глицин обоснован тем, что он обладает хорошей комплексообразующей способностью и является доступным, недорогим, нетоксичным, нелетучим реагентом. Что касается остальных реагентов гидроксида натрия (для создания щелочной среды) и перекиси водорода, то первый не оказывает коррозионного воздействия на аппаратуру, а второй разлагается на экологически безопасные соединения.

Исследование взаимодействия борнита с глицином.

Процесс растворения борнита изучали на установке с двумя интенсивно встряхиваемыми стеклянными термостатированными реакторами типа «утка». В каждый реактор объемом 150 мл помещали 0.1 г минерала и нагревали реактор до температуры опыта. Затем приливали 50 мл растворяющего реагента с соответствующей температурой и устанавливали необходимую регулируемую скорость перемешивания реакционной смеси – 150÷160 об/мин. Температуру поддерживали с точностью $\pm 0.5^\circ\text{C}$ с помощью погружного термостата-циркулятора LOIP LT-100. Полученный после разделения раствора из реактора на твердую и жидкую фазы, фильтрат анализировали на содержание ионов Cu^{2+} атомно-абсорбционным методом на атомно-абсорбционном спектрофотометре Shimadzu AA-6200 (Япония).

Каждый эксперимент включал 2 параллельных опыта.

Степень извлечения ионов меди из минерала рассчитывалась по формуле:

$$E = \frac{C}{C_{\text{max}}} \cdot 100\% \quad (2)$$

где E – степень извлечения, %; C – концентрация ионов меди в растворе, мг/л; C_{max} – максимальная концентрация ионов меди в минерале, мг/л.

Результаты и обсуждение.

Взаимодействие борнита с глицином в щелочной среде.

Как и другие аминокислоты, глицин является амфотерной молекулой, то есть проявляет кислотно-основные свойства. Его нейтральная форма представляет собой цвиттер-ион, который имеет положительный заряд на аминогруппе и отрицательный заряд на карбоксильной группе, что дает общий нейтральный заряд [12]. Он может получить протон с

образованием катиона или потерять протон в результате реакции с гидроксидом с образованием аниона, как показано на рисунке 1.



Рисунок 1. Кислотно-основное равновесие глицина [13]

Форма глицинат-аниона доминирует, когда рН больше значения 9.8, поэтому необходимо процесс извлечения ионов меди из борнита в раствор проводить в щелочной среде. Согласно этим данным, процесс извлечения ионов Cu^{2+} из сульфидного минерала в раствор происходит за счет комплексообразования глицината меди (II) (рисунок 2).

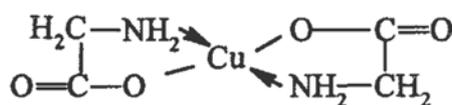


Рисунок 2. Строение глицината меди (II) [14]

Полученный в ходе эксперимента раствор после выщелачивания, содержащий глицинат меди (II) имеет ярко-синий цвет по сравнению с обычным раствором медного купороса, что согласуется с литературными данными [15].

Исследование влияния различных факторов на процесс извлечения ионов Cu^{2+} из борнита растворяющим реагентом на основе глицина.

Влияние концентрации растворителя.

Влияние концентрации глицина в щелочной среде на процесс извлечения ионов Cu^{2+} из борнита в раствор в интервале концентраций (0.1÷1)М было изучено при температуре 298 К и продолжительности опыта 10 минут (рисунок 3).

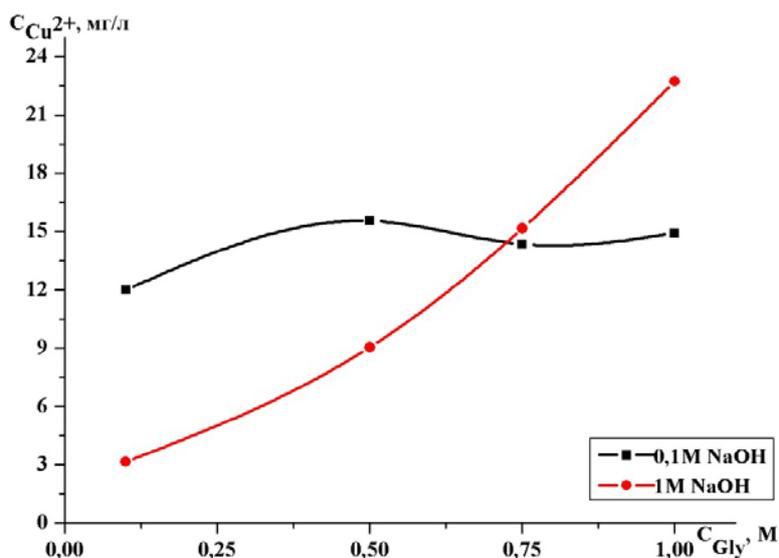


Рисунок 3. Зависимость концентрации извлеченных ионов меди в системе « Cu_5FeS_4 -Gly-NaOH» от концентрации глицина ($m(\text{Cu}_5\text{FeS}_4)=100$ мг, $\text{pH}>7$, $T=298$ К, $t=10$ мин)

Из рисунка 3 видно, что увеличение концентрации глицина в щелочной среде при 0.1 М NaOH незначительно влияет на извлечение меди. А при 1 М NaOH извлечение меди из борнита заметно изменяется. С увеличением концентрации глицина в системе «Cu₃FeS₄-Gly-1М NaOH» увеличивается количество глицинат-анионов при необходимом для этого значении pH, в связи, с чем растет концентрация извлеченных ионов меди в растворе.

Сравнительный анализ данных из графиков на рисунке 3, отражающий значения концентраций извлеченных ионов меди (II) из борнита в раствор в зависимости от соотношения глицина и гидроксида натрия показывает, что значительную роль играет глицин, который за счет комплексообразования усиливает извлечение ионов меди (таблица 1).

Таблица 1. Концентрация ионов меди, извлеченных из борнита в раствор при различных соотношениях Gly:NaOH

Растворитель	C _{Cu²⁺} , мг/л*			
	t=10 мин			
	Gly:NaOH	0.1M NaOH	Gly:NaOH	1M NaOH
0.1M Gly	1:1	12.01	1:10	3.16
0.5M Gly	5:1	15.56	1:2	9.05
0.75M Gly	7.5:1	14.36	3:4	15.18
1M Gly	10:1	14.93	1:1	22.74

* – предел обнаружения методом ААС (Shimadzu AA-6200) равен 0.01 мг/л

В системе растворителя «Gly-0.1М NaOH» извлечение ионов Cu²⁺ из борнита практически имеет одинаковое значение концентраций независимо от изменения концентраций глицина от 0.1 М до 1 М. По сравнению с системой «Gly-0.1М NaOH», в системе «Gly-1М NaOH» значения концентраций ионов Cu²⁺, извлеченных из фазы минерала в раствор падают. Скорее всего, это объясняется тем, что при повышении количества OH⁻ ионов (Gly:NaOH: 1:1, 3:4, 1:2, 1:10) в системе растворителя «Gly-1М NaOH» происходит снижение растворимости атмосферного O₂ по сравнению в системе «Gly-0.1М NaOH» в 1.45 раз. Считается, что атмосферный кислород вносит определенный вклад как окислитель. Расчеты по растворимости кислорода в воде и в щелочных растворах были проведены согласно источнику [16].

Для рассматриваемого процесса извлечения ионов меди из борнита в раствор, кинетическая характеристика как порядок реакции (α) была рассчитана по уравнению В.В. Доливо-Добровольского [17]:

$$\lg C/t = \alpha \lg C_0 + \lg(KA_0/\sigma) \quad (3)$$

где C – концентрация ионов Cu²⁺ в растворе, моль/л; t – время растворения, с; α – порядок реакции на границе раздела фаз «твердое-жидкость»; C₀ – концентрация растворяющего реагента, моль/л; K – константа скорости растворения, (моль·г)/м²; A₀ – удельная поверхность минерала, м²/г; σ – стехиометрический коэффициент, указывающий число молей растворяющего реагента, необходимое для растворения 1 моля минерала.

Определенный по уравнению (3) порядок реакции на границе раздела фаз «твердое-жидкость» в процессе извлечения ионов меди из борнита в раствор в системе растворяющего реагента на основе «0.1÷1М Gly-1М NaOH» имеет дробное значение – 0.82 (рисунок 4), что указывает на сложность механизма процесса.

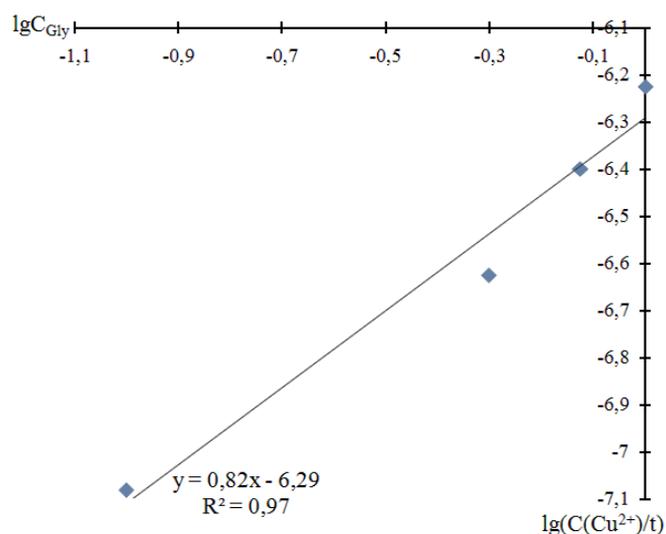
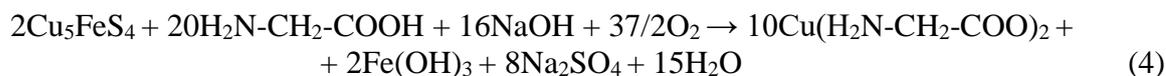


Рисунок 4. Определение порядка реакции по глицину при растворении борнита

Необходимо отметить, что при растворении борнита в выщелачивающем растворе не обнаружены ионы железа, так как образующийся гидроксид Fe (II) не растворяется и очень быстро окисляется до Fe(OH)₃ [12].

Было предположено, что процесс растворения борнита в щелочном растворе глицина протекает по следующей суммарной реакции:



Исследование влияния концентрации глицина и щелочи на кинетику растворения борнита позволило определить наиболее оптимальное их соотношение «0.1M Gly-0.1M NaOH» для дальнейших экспериментов.

На рисунке 5 представлена кинетическая кривая процесса растворения борнита в системе растворителя «0.1M Gly-0.1M NaOH».

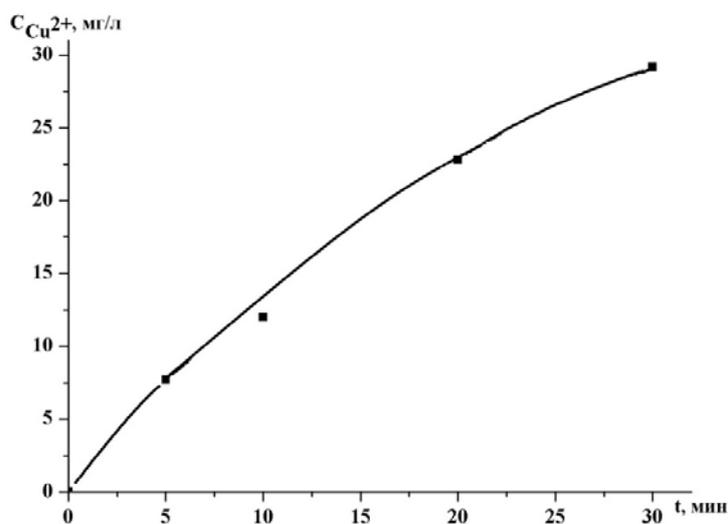


Рисунок 5. Зависимость концентрации ионов меди в системе «Cu₅FeS₄-0.1M Gly-0.1M NaOH» от времени извлечения (m(Cu₅FeS₄)=100 мг, pH>7, T=298 K)

На данной кинетической кривой заметно, что по мере увеличения продолжительности процесса растворения, концентрация извлеченных ионов меди из твердой фазы в раствор увеличивается и в течение 30 минут достигает значения – 29.18 мг/л. Для определения влияния концентрации глицина на процесс растворения борнита в присутствии окислителя – перекиси водорода в щелочной среде были проведены эксперименты, результаты которых представлены на рисунке 6.

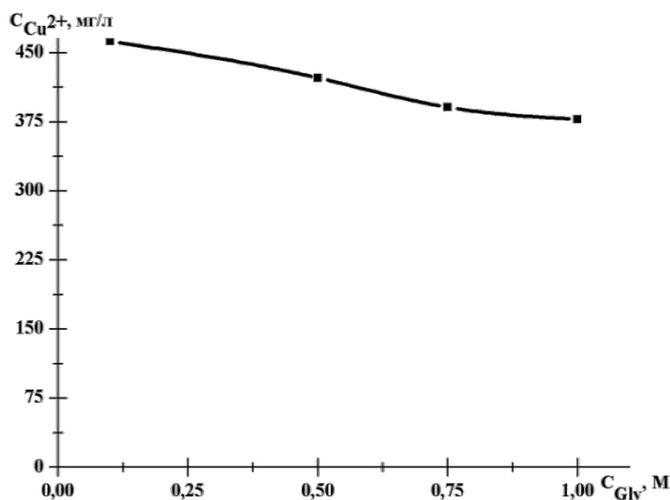


Рисунок 6. Зависимость концентрации извлеченных ионов меди в системе « Cu_5FeS_4 -Gly-0.1M NaOH-0.1M H_2O_2 » от концентрации глицина ($m(Cu_5FeS_4)=100$ мг, $pH>7$, $T=298$ К, $t=10$ мин)

Из рисунка 6 заметно, что с ростом концентрации глицина от 0.1 М до 1 М концентрация ионов Cu^{2+} , извлеченных из борнита в раствор, уменьшается. Такая закономерность, то есть уменьшение степени извлечения меди из твердой фазы борнита в раствор обусловлена снижением рН среды при увеличении концентрации глицина (таблица 2), что, в свою очередь, приводит к уменьшению мольной доли глицинат-анионов в растворе.

Таблица 2. Значения степени извлечения ионов Cu^{2+} из борнита в раствор при различных концентрациях Gly и рН

Растворяющий реагент	рН	Е, %
0.1M Gly-0.1M NaOH-0.1M H_2O_2	10.21	36.56
0.5M Gly-0.1M NaOH-0.1M H_2O_2	9.01	33.41
0.75M Gly-0.1M NaOH-0.1M H_2O_2	8.85	30.89
1M Gly-0.1M NaOH-0.1M H_2O_2	8.77	29.85

Влияние присутствия окислителя.

Для исследования влияния окислителя был использован пероксид водорода с концентрацией 0.1 М. Влияние перекиси водорода на процесс извлечения ионов Cu^{2+} из борнита в щелочном растворе глицина (0.1M Gly-0.1M NaOH) было изучено при температуре 298 К, $pH>7$ в течение 5, 10, 20, 30 минут (рисунок 7).

Как видно из рисунка 7, при растворении борнита концентрация извлеченных ионов меди увеличивается с течением времени процесса. В течение 30 минут соответственно извлекалось 467.37 мг/л ионов Cu^{2+} .

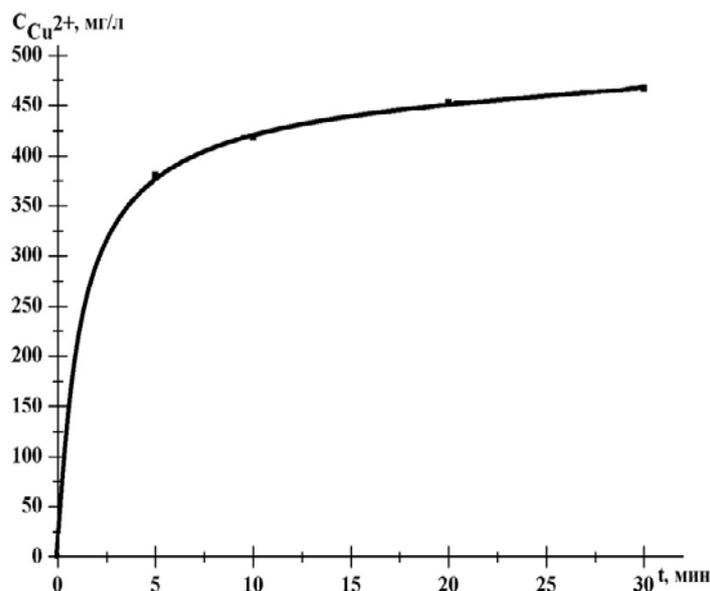
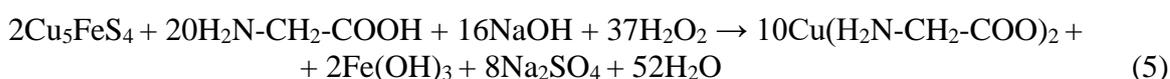


Рисунок 7. Зависимость концентрации извлеченных ионов меди в системе «Cu₅FeS₄-0.1M Gly-0.1M NaOH-0.1M H₂O₂» от времени извлечения (m(Cu₅FeS₄)=100 мг, pH>7, T=298 K)

Растворение борнита в щелочном растворе глицина в присутствии перекиси водорода, вероятнее всего происходит по следующей реакции:



Подтверждением того факта, что растворение борнита происходит за счет комплексообразования ионов меди (II) с глицином является то, что без глицина, только в присутствии H₂O₂ и в системе «0.1M NaOH-0.1M H₂O₂» извлечение меди из борнита не наблюдалось, как ожидалось.

Добавление в систему перекиси водорода в качестве окислителя приводит к заметному росту извлечения ионов меди из твердой фазы минерала в раствор в сравнении с результатами без использования данного окислителя, так концентрация меди, извлеченной в раствор, увеличилась примерно в 16 раз за 30 минут.

Заключение. В ходе работы показано, что использование щелочных растворов глицина позволяет переводить медь из твердой фазы борнита в раствор в условиях комнатных температур, эффективность глицина обусловлена его высокой комплексообразующей способностью; введение в систему дополнительно окислителя – перекиси водорода существенно увеличивает скорость процесса выщелачивания борнита; на кинетику окисления борнита оказывает влияние не только концентрация глицина и pH раствора, но и соотношение глицин:щелочь.

Таким образом, результаты исследования позволяют рассматривать в качестве перспективного экологически безопасного по воздействию на окружающую среду растворяющего реагента на основе щелочного раствора глицина и перекиси водорода для перевода меди из твердой фазы сульфидных минералов.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Kartal M., Xia F., Ralph D., Rickard W. D. A., Renard F., Li W. Enhancing chalcopyrite leaching by tetrachloroethylene-assisted removal of sulphur passivation and the mechanism of jarosite formation // Hydrometallurgy. – 2020. – № 191. doi:10.1016/j.hydromet.2019.105192.

- [2] Solís Marcial O. J., Nájera Bastida A., Bañuelos J. E., Valdés Martínez O. U., Luevano L. A., Serrano Rosales B. Chalcopyrite Leaching Kinetics in the Presence of Methanol // *International Journal of Chemical Reactor Engineering*. – 2019. – Vol. 17. – № 12. doi: <https://doi.org/10.1515/ijcre-2019-0081>
- [3] Olvera O. G., Rebolledo M., Mora N., Dixon D. G., Asselin E. Electrochemical dissolution of chalcopyrite in the presence of thiourea and formamidine disulfide // *Hydrometallurgy*. – 2018. – № 179. – P. 110–117. doi:10.1016/j.hydromet.2018.05.023.
- [4] Solis-Marcial O.J., Lapidus G.T. Improvement of chalcopyrite dissolution in acid media using polar organic solvents // *Hydrometallurgy*. – 2013. – № 131–132. – P. 120-126.
- [5] Набойченко С.С., Агеев Н.Г., Дорошкевич А.П., Жуков В.П., Елисеев Е.И., Карелов С.В., Лебедь А.Б., Мамяченков С.В. Процессы и аппараты цветной металлургии: учебник для вузов. – Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ – УПИ, 2005. – 700 с.
- [6] Eksteen J. J., Oraby E. A., Tanda B. C. A conceptual process for copper extraction from chalcopyrite in alkaline glycinate solutions // *Minerals Engineering*. – 2017. – № 108. – P. 53–66.
- [7] Oraby E. A., Eksteen J. J., Tanda B. C. Gold and copper leaching from gold-copper ores and concentrates using a synergistic lixiviant mixture of glycine and cyanide // *Hydrometallurgy*. – 2017. – № 169. – P. 339-345.
- [8] Azadi M. R., Karrech A., Elchalakani M., Attar M. Microfluidic study of sustainable gold leaching using glycine solution // *Hydrometallurgy*. – 2019. – № 185. – P. 186-193.
- [9] Shin D., Ahn J., Lee J. Kinetic study of copper leaching from chalcopyrite concentrate in alkaline glycine solution // *Hydrometallurgy*. – 2019. – № 183. – P. 71–78.
- [10] Olvera O. G., Valenzuela P., Dixon D. G., Asselin E. Effect of cysteine on the electrochemical dissolution of chalcopyrite // *Hydrometallurgy*. – 2017. – № 169. – P. 552-563.
- [11] Hao W., Feng Y., Huang W., Haoran L., Liao Sh. The role of glycine in the ammonium thiocyanate leaching of gold // *Hydrometallurgy*. – 2019. – № 185. – P. 111-116.
- [12] Кадырова Р.Г., Кабиров Г.Ф., Муллахметов Р.Р. Синтез и свойства комплексных солей биогенных кислот макро- и микроэлементов. Монография. – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2016. – 115 с.
- [13] O'Connor G. M., Lepkova K., Eksteen J. J., Oraby E. A. Electrochemical behaviour of copper in alkaline glycine solutions // *Hydrometallurgy*. – 2018. doi:10.1016/j.hydromet.2018.10.001.
- [14] Харитонов Ю.Я. Аналитическая химия (аналитика). В 2 кн. Кн. 1. Общие теоретические основы. Качественный анализ. Учеб. для вузов. – 2-е изд., испр. – М.: Высш. шк., 2003. – 615 с.
- [15] Кадырова Р.Г., Кабиров Г.Ф., Муллахметов Р.Р. Синтез медных и цинковых солей метионина и глицина // *Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана*. – 2013. – Т. 213. – № 1. – С. 109-115.
- [16] Гройсман А. Ш., Хомутов Н. Е. Растворимость кислорода в растворах электролитов // *Успехи химии*. – 1990. – Т. 59. – № 8. – С. 1217-1250.
- [17] Доливо-Добровольский В.В. Некоторые закономерности процессов растворения дисперсного твердого вещества // *Записки Ленинградского горного института*. – Химия, металлургия, обогащение. – 1963. – Т. 42. – Вып. 3. – С. 12-28.

REFERENCES

- [1] Kartal M., Xia F., Ralph D., Rickard W. D. A., Renard F., Li W. Enhancing chalcopyrite leaching by tetrachloroethylene-assisted removal of sulphur passivation and the mechanism of jarosite formation // *Hydrometallurgy*. – 2020. – № 191. doi:10.1016/j.hydromet.2019.105192
- [2] Solís Marcial O. J., Nájera Bastida A., Bañuelos J. E., Valdés Martínez O. U., Luevano L. A., Serrano Rosales B. Chalcopyrite Leaching Kinetics in the Presence of Methanol // *International Journal of Chemical Reactor Engineering*. – 2019. – Vol. 17. – № 12. doi: <https://doi.org/10.1515/ijcre-2019-0081>
- [3] Olvera O. G., Rebolledo M., Mora N., Dixon D. G., Asselin E. Electrochemical dissolution of chalcopyrite in the presence of thiourea and formamidine disulfide // *Hydrometallurgy*. – 2018. – № 179. – P. 110–117. doi:10.1016/j.hydromet.2018.05.023
- [4] Solis-Marcial O.J., Lapidus G.T. Improvement of chalcopyrite dissolution in acid media using polar organic solvents // *Hydrometallurgy*. – 2013. – № 131–132. – P. 120-126.
- [5] Naboichenko S.S., Ageev N.G., Doroshkevich A.P., Zhukov V.P., Eliseev E.I., Karelov S.V., Lebed' A.B., Mamyachenkov S.V. Protsessy i apparaty tsvetnoi metallurgii: uchebnik dlya vuzov. – Екатеринбург: GOU VPO UGTU – UPI, 2005. – 700 s.

- [6] Eksteen J. J., Oraby E. A., Tanda B. C. A conceptual process for copper extraction from chalcopyrite in alkaline glycinate solutions // *Minerals Engineering*. – 2017. – № 108. – P. 53–66.
- [7] Oraby E. A., Eksteen J. J., Tanda B. C. Gold and copper leaching from gold-copper ores and concentrates using a synergistic lixiviant mixture of glycine and cyanide // *Hydrometallurgy*. – 2017. – № 169. – P. 339-345.
- [8] Azadi M. R., Karrech A., Elchalakani M., Attar M. Microfluidic study of sustainable gold leaching using glycine solution // *Hydrometallurgy*. – 2019. – № 185. – P. 186-193.
- [9] Shin D., Ahn J., Lee J. Kinetic study of copper leaching from chalcopyrite concentrate in alkaline glycine solution // *Hydrometallurgy*. – 2019. – № 183. – P. 71–78.
- [10] Olvera O. G., Valenzuela P., Dixon D. G., Asselin E. Effect of cysteine on the electrochemical dissolution of chalcopyrite // *Hydrometallurgy*. – 2017. – № 169. – P. 552-563.
- [11] Hao W., Feng Y., Huang W., Haoran L., Liao Sh. The role of glycine in the ammonium thiocyanate leaching of gold // *Hydrometallurgy*. – 2019. – № 185. – P. 111-116.
- [12] Kadyrova R.G., Kabirov G.F., Mullakhmetov R.R. Sintez i svoistva kompleksnykh solei biogennykh kislot makro- i mikroelementov. Monografiya. – Kazan': Kazan. gos. energ. un-t, 2016. – 115 s.
- [13] O'Connor G. M., Lepkova K., Eksteen J. J., Oraby E. A. Electrochemical behaviour of copper in alkaline glycine solutions // *Hydrometallurgy*. – 2018. doi:10.1016/j.hydromet.2018.10.001
- [14] Kharitonov Yu.Ya. Analiticheskaya khimiya (analitika). V 2 kn. Kn. 1. Obshchie teoreticheskie osnovy. Kachestvennyi analiz. Ucheb. dlya vuzov. – 2-e izd., ispr. – M.: Vyssh. shk., 2003. – 615 s.
- [15] Kadyrova R.G., Kabirov G.F., Mullakhmetov R.R. Sintez mednykh i tsinkovykh solei metionina i glitsina // *Uchenye zapiski Kazanskoi gosudarstvennoi akademii veterinarnoi meditsiny im. N.E. Baumana*. – 2013. – T. 213. – № 1. – S. 109-115.
- [16] Groisman A. Sh., Khomutov N. E. Rastvorimost' kisloroda v rastvorakh elektrolitov // *Uspekhi khimii*. – 1990. – T. 59. – № 8. – S. 1217-1250.
- [17] Dolivo-Dobrovolskii V.V. Nekotorye zakonomernosti protsessov rastvoreniya dispersnogo tverdogo veshchestva // *Zapiski Leningradskogo gornogo instituta*. – Khimiya, metallurgiya, obogashchenie. – 1963. – T. 42. – Vyp. 3. – S. 12-28.

Н.Д. Нуртазина*, Л.И. Сыздыкова

әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

*e-mail: nurtazina.nn@gmail.com

ГЛИЦИН ҚАТЫСУЫМЕН БОРНИТТІ ШАЙМАЛАУ КИНЕТИКАСЫ

Андатпа. Құрамында мыс бар сульфидті табиғи материалдарды өңдеудің гидрометаллургиялық әдістерін жетілдіру экологиялық проблемалардың күрделенуіне, өңделетін шикізат құрамының сарқылуына және күрделенуіне байланысты өзекті міндет болып табылады. Жұмыста глицин мен сутегі асқын тотығының сілтілі ерітінділерімен борниттің қатты фазасынан мысты ерітіндіге алу процесінің кинетикалық заңдылықтары зерттелген. Кинетика бөлме температурасында және сутегі асқын тотығының 0.1 М концентрациясында зерттелді. Глицин концентрациясы 0.1-ден 1.0 М-ге дейін өзгерді. Зерттелген ортаның рН интервалында (8÷11) глицин Cu^{2+} иондарымен тұрақты мыс (II) глицинатын қалыптастыру үшін күрделі түзілу реакциясына енетін глицинат аниондары түрінде болады, бұл минералдан ерітіндіге мысты тиімді алуға ықпал етеді. Тотықтырғыш – сутегі асқын тотығының жүйеге енгізілуі Cu^{2+} иондарының ерітіндіге түсуін едәуір арттырды. Борниттен мысты алу дәрежесі алғашқы 10 минут ішінде 29-дан 37 % - ға дейін өзгерді. Жүргізілген зерттеулердің нәтижелері глицин мен сутегі асқын тотығының сілтілі ерітінділерін сульфидті минералды шикізаттан мысты шаймалау үшін перспективті еріткіш реагент ретінде қарастыруға мүмкіндік береді.

Негізгі сөздер: мыс, сульфидті минерал, борнит, глицин, глициннің сілтілі ерітіндісі, натрий гидроксиді, сутегі асқын тотығы, бөліп алу, тотығу, кинетика.

N.D. Nurtazina*, L.I. Syzdykova

al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

*e-mail: nurtazina.nn@gmail.com

KINETICS OF BORNITE LEACHING IN THE PRESENCE OF GLYCINE

Abstract. Improving hydrometallurgical methods for processing copper-containing sulfide natural materials is an urgent task due to the increasing environmental problems, depletion and complexity of the composition of processed raw materials. The kinetic regularities of the process of extracting copper into solution from the solid phase of bornite by alkaline solutions of glycine and hydrogen peroxide are investigated. The kinetics was studied at room temperature and a concentration of 0.1 M hydrogen peroxide. The glycine concentration varied from 0.1 to 1.0 M. In the studied pH range of the medium (8÷11), glycine exists in the form of glycinate anions that react with Cu^{2+} ions to form a stable copper (II) glycinate, which contributes to the effective extraction of copper from the mineral into the solution. The introduction of an oxidizer – hydrogen peroxide into the system significantly increased the extraction of Cu^{2+} ions into the solution. The degree of extraction of copper from bornite in the first 10 minutes varied in the range from 29 to 37 %. The results of the conducted studies allow us to consider alkaline solutions of glycine and hydrogen peroxide as a promising solvent reagent for leaching copper from sulfide mineral raw materials.

Keywords: copper, sulfide mineral, bornite, glycine, alkaline glycine solution, sodium hydroxide, hydrogen peroxide, extraction, oxidation, kinetics.