

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОЦЕССА СУЛЬФИДИЗАЦИИ ОКИСЛЕННЫХ МЕДНЫХ МИНЕРАЛОВ ТЕХУТСКОГО РУДНИКА

С.Г. Агбальян¹, А.О. Овсепян², А.В. Авагян¹, А.А. Габриелян¹

¹Национальный политехнический университет Армении

²Институт общей и неорганической химии НАН РА

В Техутском руднике выделяется зона окисленных медных пород со сравнительно богатой минерализацией. В окисленных зонах имеются минералы меди: тенорит - CuO , куприт - Cu_2O , азурит - $\text{Cu}_3(\text{OH})_2[\text{CO}_3]_2$, малахит - $\text{Cu}_2(\text{OH})_2[\text{CO}_3]$, а также в ограниченных количествах бирюза - $\text{CuAl}_6(\text{OH})_8[\text{PO}_4]_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$. Сказанное диктует необходимость разработки новой, нетрадиционной, простой и эффективной технологии обработки окисленных минералов Техутского месторождения, которая будет основана на сочетании механохимических, механотермических восстановительных реакций. В этом случае в процессе сульфидации окисленных минералов меди получаем принципиально новый модифицированный продукт.

Процесс сульфидации окисленных минералов меди в Техутском руднике связан с многочисленными окислительно-восстановительными реакциями. Для выяснения вероятности протекания окислительно-восстановительных реакций тенорита - CuO , куприта - Cu_2O , азурита - $\text{Cu}_3(\text{OH})_2[\text{CO}_3]_2$, малахита - $\text{Cu}_2(\text{OH})_2[\text{CO}_3]$ во взаимодействии с кремнием и сульфидами натрия изначально были проведены термодинамические расчеты. В качестве критерия протекания реакции в условиях постоянного давления и температуры принята теория понижения энергии Гиббса - ΔG . Энергия Гиббса рассчитывалась методом Темкина-Шварцмана окислительно-восстановительных реакций при температурах, $^{\circ}\text{C}$: 308, 318, 328, 338, 348. Для того чтобы получить сравнительные данные, расчеты проводились для 1 моль сульфидизатора. Полученные результаты ΔG дают возможность сравнить исследуемые реакции друг с другом. В результате термодинамических расчетов показано изменение значения энергии Гиббса в зависимости от вышеуказанных температур.

На основе результатов исследования выявлено, что реакции сульфидации минералов меди окисленных медных руд с сульфидом кремния протекают с большей, по сравнению с сульфидом натрия, вероятностью. Взаимодействие протекает с большим отрицательным значением, которое необходимо для получения сульфидов меди.

Ключевые слова: Техутский рудник, порода, медь, оксид, минерал, термодинамика, сульфидация, энергия, реакция.

Введение. Техутские медно-молибденовые минеральные вещества включают в себя разные виды руд: окисленные, вторичного сульфидного обогащения и первичного сульфидного оруденения [1]. В этом месторождении четко выделяется зона окисленных горных пород со сравнительно богатой минерализацией оруденением. Зона расположена в верхней части месторождения, средняя глубина которого составляет около 70 м. Под этой зоной расположена зона вторичного сульфидного обогащения. В окисленных слоях всегда присутствуют неокисленные минералы. Минералами меди в зоне окисления являются тенорит - CuO , куприт - Cu_2O , азурит - $\text{Cu}_3(\text{OH})_2[\text{CO}_3]_2$, малахит - $\text{Cu}_2(\text{OH})_2[\text{CO}_3]$, в ограниченных количествах бирюза - $\text{CuAl}_6(\text{OH})_8[\text{PO}_4]_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$. Исходя из вышесказанного, возникла необходимость разработки новой, нетрадиционной, простой и эффективной технологии обработки окисленных минералов Техутского месторождения, которая, обходя образование SO_2 , позволит с наименьшими теплоэнергетическими и экономическими затратами добывать не только медь, но и железо, вплоть до состояния металла в виде легирующих дополнительных веществ.

В последние годы в металлургических процессах появилось новое направление, согласно которому обработка концентратов производится путем сочетания механохимических и металлотермических методов восстановления, что способствует интенсификации дальнейшего окислительно-восстановительного процесса и получению принципиально новых модифицированных продуктов. С этой точки зрения, решение поставленной задачи является весьма актуальным и перспективным.

Проблемы и обоснование методологии. Целью исследования является обоснование процесса сульфидации окисленных минералов меди на Техутском месторождении с помощью термодинамических расчетов.

Для выяснения вероятности протекания окислительно-восстановительных реакций изначально были проведены термодинамические расчеты. В качестве критерия протекания реакции в условиях постоянного давления принята теория понижения энергии Гиббса ΔG .

Расчеты ΔG проводились методом Темкина-Шварцмана (необходимые данные приведены в табл. 1) [2-6].

Для получения сравнительных данных проведены расчеты для 1 моль сульфидизации. Сравнение ΔG^0 исследуемых реакций предоставляет возможность выявить превосходство одной реакции над другой. Расчеты ΔG^0 проводились с использованием формулы Гиббса-Гельмгольца:

$$\Delta G_T^0 = \Delta H_T^0 - T \cdot \Delta S_T^0,$$

где ΔG_T^0 - изменение энергии Гиббса, кДж/моль , а ΔH_T^0 - суммарная разница между теплосодержанием продуктов и исходных материалов:

$$\Delta H^{\circ}_T = (\sum m \cdot \Delta H^{\circ}_T) - (\sum m \cdot \Delta H^{\circ}_T),$$

T – абсолютная температура (K), а ΔS°_T – суммарная разница между теплосодержанием продуктов и исходных материалов:

$$\Delta S^{\circ}_T = (\sum m \cdot \Delta S^{\circ}_T) - (\sum m \cdot \Delta S^{\circ}_T).$$

Таблица 1

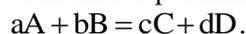
Теплосодержание (энтальпия), энтропия и теплоустойчивость исходных материалов

Элементы, соединения	ΔH°_{298} , кДж/моль	ΔS°_{298} , кДж/моль	ΔC°_{298}
Тенорит CuO	-165,3	42,64	44,78
Куприт Cu ₂ O	-167,36	93,93	63,64
Cu ₂ S	-82,0	119,24	76,24
CuS	-48,5	66,52	47,82
Азурит Cu ₃ (OH) ₂ [CO ₃] ₂	-1632,17	402,5	120
Малахит Cu ₂ (OH) ₂ [CO ₃]	-1051,43	186,18	115
Na ₂ S	-389,1	94,1	103,22
SiS ₂	-205,01	80,32	46,65
Na ₂ CO ₃	-1129	136	110
NaOH	-426,6	64,18	59,66
H ₂ O	-285,82	69,95	75,31
CO ₂	-393,50	213,67	37,13
SO ₂	-296,89	248,06	39,87
Na ₂ SO ₃	-1090	146,02	120,1
SiO ₂	-859,3	43,93	44,68

Для реакций ΔH°_{298} были использованы данные табл. 1. Для остальных температур (308, 318, 328, 338, 348⁰C) расчет ΔH°_T производили по формуле

$$\Delta H^{\circ}_T = \Delta H^{\circ}_{298} + \int_{298}^T \Delta C_{p298} \cdot$$

Если подвергающиеся воздействию химические реакции протекают до уравнивания, то с молекулярно-статистической точки зрения, это означает, что скорости прямых и обратных реакций равны [2]. С точки зрения термодинамики, это означает, что компоненты химического потенциала в правой и левой частях реакции становятся равными:



Используем следующую формулу:

$$a\mu_A + b\mu_B = c\mu_C + d\mu.$$

Учитывая, что $\mu_i = \mu_i^{\circ} + RT \ln a_i$, получим

$$a\mu_A + RT \ln(a_A)^a + b\mu_B^O + RT \ln(a_B)^{ab} = c\mu_C^O + RT \ln(a_C)^C + d\mu_D^O + RT \ln(a_D)^D,$$

где $\Delta G_T^O = (c\mu_C + d\mu_D) - (a\mu_A + b\mu_B) = -RT \ln K_a$, K_a - термодинамическая константа равновесного баланса.

Продвижение реальной химической реакции справа налево можно определить с помощью следующей формулы:

$$\Delta G_T = \Delta G_T^O + RT \ln K_\tau,$$

где K_τ - начальные отношения между компонентами, отличающиеся от K_a тем, что в ней содержится не активность баланса продуктов, а изначальная или существующая на данный момент активность. Реакция стремится к следующим равновесиям:

$$K_\tau \rightarrow K_a, \Delta G_T^O \rightarrow 0, \Delta G_T \rightarrow -RT \ln K.$$

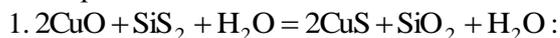
Результаты исследования. В фазе измельчения окисленной зоны Техутского месторождения было подвергнуто анализу тенорит - CuO, куприт - Cu₂O, азурит - Cu₃(OH)₂[CO₃]₂, малахит - Cu₂(OH)₂[CO₃], а также во взаимодействии с кремнием и сульфидами натрия бирюза - CuAl₆(OH)₈[PO₄]₄·4H₂O.

Ниже приведены основные реакции, которые протекают во время сульфидации окисленных минералов меди:

1. $2CuO + SiS_2 + H_2O = 2CuS + SiO_2 + H_2O.$
2. $2CuO + Na_2S + H_2O = CuS + 2NaOH.$
3. $2Cu_2O + SiS_2 + H_2O = 2Cu_2S + SiO_2 + H_2O.$
4. $Cu_2O + Na_2S + H_2O = Cu_2S + 2NaOH.$
5. $Cu_2(OH)_2[CO_3] + SiS_2 + H_2O = 2CuS + SiO_2 + CO_2 + 2H_2O.$
6. $Cu_2(OH)_2[CO_3] + Na_2S + 1/4H_2O = 3/4Cu_2S + 2NaOH + 1/4SO_2 + 3/4CO_2.$
7. $Cu_3(OH)_2[CO_3]_2 + SiS_2 + H_2O = 3/2Cu_2S + SiO_2 + 1/2SO_2 + 2CO_2 + 2H_2O.$
8. $1/2Cu_3(OH)_2[CO_3]_2 + Na_2S + 1/2H_2O = 3/4Cu_2S + Na_2CO_3 + 1/4Na_2SO_3 + 1/4CO_2 + H_2O.$

В результате термодинамических расчетов были получены величины изменения энергии Гиббса, зависимость от температуры которых показана в табл. 2.

Для вышеуказанных реакций были проведены термодинамические расчеты, согласно которым имеем



$$\Delta G_{298} = -418,29 - 298 \cdot 0,01087 = -421,53 \text{ кДж/моль,}$$

$$\Delta G_{308} = -418,29 - 308 \cdot 0,01087 = -421,05 \text{ кДж/моль,}$$

$$\Delta G_{318} = -418,29 - 318 \cdot 0,01087 = -420,59 \text{ кДж/моль,}$$

$$\Delta G_{328} = -418,29 - 328 \cdot 0,01087 = -420,12 \text{ кДж/моль,}$$

$$\Delta G_{338} = -418,29 - 338 \cdot 0,01087 = -419,64 \text{ кДж/моль,}$$

$$\Delta G_{348} = -418,29 - 348 \cdot 0,01087 = -419,17 \text{ кДж/моль.}$$



$$\Delta G_{298} = -61,48 - 298 \cdot (-0,01553) = -56,85 \text{ кДж/моль,}$$

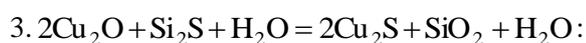
$$\Delta G_{308} = -62,04 - 308 \cdot (-0,01553) = -57,26 \text{ кДж/моль,}$$

$$\Delta G_{318} = -62,6 - 318 \cdot (-0,01553) = -57,66 \text{ кДж/моль,}$$

$$\Delta G_{328} = -63,17 - 328 \cdot (-0,01553) = -58,08 \text{ кДж/моль,}$$

$$\Delta G_{338} = -63,73 - 338 \cdot (-0,01553) = -58,48 \text{ кДж/моль,}$$

$$\Delta G_{348} = -64,29 - 348 \cdot (-0,01553) = -58,89 \text{ кДж/моль.}$$



$$\Delta G_{298} = -401,17 - 298 \cdot 0,01381 = -405,29 \text{ кДж/моль,}$$

$$\Delta G_{308} = -400,97 - 308 \cdot 0,01381 = -405,22 \text{ кДж/моль,}$$

$$\Delta G_{318} = -400,77 - 318 \cdot 0,01381 = -405,16 \text{ кДж/моль,}$$

$$\Delta G_{328} = -400,57 - 328 \cdot 0,01381 = -405,09 \text{ кДж/моль,}$$

$$\Delta G_{338} = -400,37 - 338 \cdot 0,01381 = -405,04 \text{ кДж/моль.}$$



$$\Delta G_{298} = -92,92 - 298 \cdot (-0,0141) = -88,72 \text{ кДж/моль,}$$

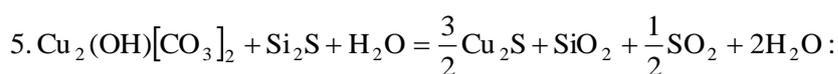
$$\Delta G_{308} = -93,39 - 308 \cdot (-0,0141) = -89,04 \text{ кДж/моль,}$$

$$\Delta G_{318} = -93,85 - 318 \cdot (-0,0141) = -89,37 \text{ кДж/моль,}$$

$$\Delta G_{328} = -94,32 - 328 \cdot (-0,0141) = -89,70 \text{ кДж/моль,}$$

$$\Delta G_{338} = -94,78 - 338 \cdot (-0,0141) = -90,01 \text{ кДж/моль,}$$

$$\Delta G_{348} = -95,25 - 348 \cdot (-0,0141) = -90,34 \text{ кДж/моль.}$$



$$\Delta G_{298} = -364 - 298 \cdot 0,3607 = -471,49 \text{ кДж/моль,}$$

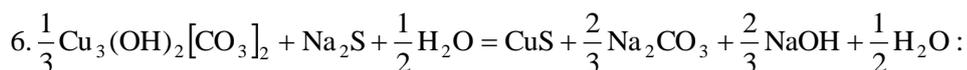
$$\Delta G_{308} = -362,42 - 308 \cdot 0,3607 = -473,52 \text{ кДж/моль,}$$

$$\Delta G_{318} = -360,83 - 318 \cdot 0,3607 = -475,53 \text{ кДж/моль,}$$

$$\Delta G_{328} = -359,25 - 328 \cdot 0,3607 = -477,56 \text{ кДж/моль,}$$

$$\Delta G_{338} = -357,66 - 338 \cdot 0,3607 = -479,58 \text{ кДж/моль,}$$

$$\Delta G_{348} = -356,07 - 348 \cdot 0,3607 = -481,59 \text{ кДж/моль.}$$



$$\Delta G_{298} = -152,04 - 298 \cdot (-0,03069) = -142,89 \text{ кДж/моль,}$$

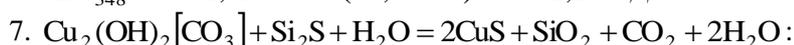
$$\Delta G_{308} = -152,22 - 308 \cdot (-0,03069) = -142,77 \text{ кДж/моль,}$$

$$\Delta G_{318} = -152,39 - 318 \cdot (-0,03069) = -142,63 \text{ кДж/моль,}$$

$$\Delta G_{328} = -152,57 - 328 \cdot (-0,03069) = -142,5 \text{ кДж/моль,}$$

$$\Delta G_{338} = -152,75 - 338 \cdot (-0,03069) = -142,38 \text{ кДж/моль,}$$

$$\Delta G_{348} = -152,92 - 348 \cdot (-0,03069) = -142,24 \text{ кДж/моль.}$$



$$\Delta G_{298} = -376,78 - 298 \cdot 0,19367 = -434,49 \text{ кДж/моль,}$$

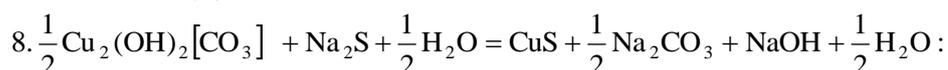
$$\Delta G_{308} = -375,9 - 308 \cdot 0,19367 = -435,55 \text{ кДж/моль,}$$

$$\Delta G_{318} = -375,03 - 318 \cdot 0,19367 = -436,62 \text{ кДж/моль,}$$

$$\Delta G_{328} = -374,15 - 328 \cdot 0,19367 = -437,67 \text{ кДж/моль,}$$

$$\Delta G_{338} = -373,27 - 338 \cdot 0,19367 = -438,73 \text{ кДж/моль,}$$

$$\Delta G_{348} = -372,39 - 348 \cdot 0,19367 = -439,79 \text{ кДж/моль.}$$



$$\Delta G_{298} = -124,78 - 298 \cdot 0,00812 = -127,2 \text{ кДж/моль,}$$

$$\Delta G_{308} = -124,76 - 308 \cdot 0,00812 = -127,26 \text{ кДж/моль,}$$

$$\Delta G_{318} = -124,74 - 318 \cdot 0,00812 = -127,32 \text{ кДж/моль,}$$

$$\Delta G_{328} = -124,73 - 328 \cdot 0,00812 = -127,39 \text{ кДж/моль,}$$

$$\Delta G_{338} = -124,71 - 338 \cdot 0,00812 = -127,45 \text{ кДж/моль,}$$

$$\Delta G_{348} = -124,69 - 348 \cdot 0,00812 = -127,52 \text{ кДж/моль.}$$

Таблица 2

Зависимость значений изменения энергии Гиббса от температуры

Номер реак- ции	Температура, °C					
	298	308	318	328	338	348
1	-421,53	-421,05	-420,59	-420,12	-419,64	-419,17
2	-56,85	-57,26	-57,66	-58,08	-58,48	-58,89
3	-405,29	-405,22	-405,16	-405,09	-405,04	-404,98
4	-88,72	-89,04	-89,37	-89,7	-90,01	-90,34
5	-471,49	-473,52	-475,53	-477,56	-479,58	-481,59
6	-142,89	-142,77	-142,63	-142,5	-142,38	-142,24
7	-434,49	-435,55	-436,62	-437,67	-438,73	-439,79
8	-127,2	-127,26	-127,32	-127,39	-127,45	-127,52

На рисунке приведены зависимости энергии Гиббса от температуры реакции получения сульфида меди из чистых минералов меди для выяснения вероятности протекания реакции.

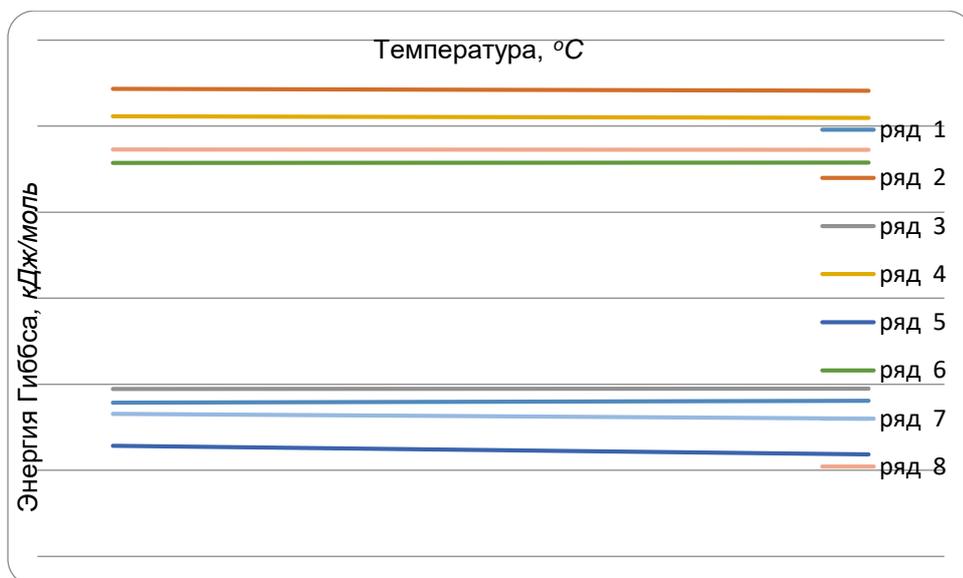


Рис. Зависимость энергия Гиббса от температуры

Как видно из результатов расчета (см. рис.), эти реакции термодинамически протекающие. Лабораторные исследования показали, что на стадии измельчения происходит сульфидизация окисленных медных и смешанных руд сульфидами кремния или тиокомплексом натрия при низких температурах. Поверхностная сульфидизация позволяет производить флотацию этих минералов методом пенофлотации.

В результате комплексного исследования разработана технология переработки окисленных медных минералов Техутского медно-молибденового месторождения, которая включает поверхностную сульфидизацию минералов меди в процессе измельчения, пенофлотацию и получение сульфидного концентрата.

Выводы. Таким образом, выявлено, что реакция сульфидации минералов меди окисленной зоны Техутского месторождения сульфидом кремния более вероятна по сравнению с сульфидом натрия. Взаимодействие происходит с большим отрицательным значением энергии Гиббса, что необходимо для получения сульфидов меди.

Լիտերատուրա

1. Минералого-петрографическая характеристика руд и рудовмещающих пород Техутского медно-молибденового месторождения: Отчет НИГМИ.- Ереван, 2007.- 204 с.
2. **Дорогокунец П.И., Карпов И.К.** Термодинамика минералов и минеральных равновесий.- Новосибирск: Наука, 1984.- 184 с.
3. **Рузинов П.П., Гуляницкий Б.С.** Равновесные превращения металлургических реакций.- М.: Металлургия, 1975.- 416 с.
4. Термодинамические свойства индивидуальных веществ / **В.П. Глушко, Л.В. Гурвич и др.**- М., 1978.- Т. 1-4.
5. **Карпов И.К., Конник С.А., Лашкевич Т.М.** Константы веществ для термодинамических расчетов в геохимии и петрологии.- М.: Наука, 1986.- 143 с.
6. **Лидин Р.А., Андреева Л.Л., Молочко В.А.** Справочник неорганической химии. Константы неорганических веществ.- М.: Химия, 1987.- 320 с.

Поступила в редакцию 30.11.2017.

Принята к опубликованию 29.05.2018.

ԹԵՂՈՒՏԻ ՀԱՆՔԱՎԱՅՐԻ ՊՂՆԶԻ ՕՔՍԻԴԱՑԱԾ ՄԻՆԵՐԱԼՆԵՐԻ ՍՈՒԼՏԻԴԱՑՄԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՅԻ ԹԵՐՄՈԴԻՆԱՄԻԿԱԿԱՆ ՀԻՄՆԱՎՈՐՈՒՄԸ

Ս.Գ. Աղբալյան, Ա.Հ. Հովսեփյան, Հ.Վ. Ավագյան, Ա.Ա. Գաբրիելյան

Թեղուտի հանքավայրում առանձնանում է ապարների օքսիդացած գոտին՝ համեմատաբար հարուստ հանքայնացմամբ: Օքսիդացած գոտու պղնձի միներալներն են տենորիտը՝ Cu_2O , կուպրիտը՝ Cu_2O , ազուրիտը՝ $\text{Cu}_3(\text{OH})_2[\text{CO}_3]_2$, մալախիտը՝ $\text{Cu}_2(\text{OH})_2[\text{CO}_3]$, սահմանափակ տեղամասերում փիրուզը՝ $\text{CuAl}_6(\text{OH})_8[\text{PO}_4]_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$: Այդ իսկ պատճառով անհրաժեշտություն է առաջացել մշակել Թեղուտի հանքավայրի օքսիդացած հանքանյութերի նոր, ոչ ավանդական, պարզ և արդյունավետ տեխնոլոգիա, որը հիմնված է մեխանաքիմիական և մետաղաթերմային վերականգնման եղանակների զուգակցման վրա: Այս դեպքում հանքավայրի պղնձի օքսիդացած միներալների սուլֆիդացման միջոցով ստացվում են սկզբունքային նոր, մոդիֆիկացված արգասիքներ:

Թեղուտի հանքավայրի պղնձի օքսիդացած միներալների սուլֆիդացման գործընթացը կապված է բազմաթիվ օքսիդավերականգնման ռեակցիաների հետ: Տենորիտի՝ Cu_2O , կուպրիտի՝ Cu_2O , ազուրիտի՝ $\text{Cu}_3(\text{OH})_2[\text{CO}_3]_2$, մալախիտի՝ $\text{Cu}_2(\text{OH})_2[\text{CO}_3]$ հետ սիլիցիումի և նատրիումի սուլֆիդների փոխազդեցության ռեակցիաների ընթանալու հավանականությունը պարզելու համար կատարվել են նախնական թերմոդինամիկական հաշվարկներ: Ռեակցիաների ընթանալու չափանիշն է հաստատուն ճնշման և ջերմաստիճանի պայմաններում Գիբսի էներգիայի նվազումը: Գիբսի էներգիան հաշվարկվել է Տեմկին-Շվարցմանի մեթոդով՝ 308°C , 318°C , 328°C , 338°C , 348°C ջերմաստիճաններում ընթացող օքսիդավերականգնման ռեակցիաների դեպքում: Որպեսզի տվյալները համեմատելի լինեն, հաշվարկները կատարվել են 1 մոլ սուլֆիդարարի համար: Ստացված ΔG -ի արդյունքները հնարավորություն են տալիս համեմատել ընթացող ռեակցիաները մեկը մյուսի հետ:

Թերմոդինամիկական հաշվարկների արդյունքում ցույց են տրվել Գիբսի էներգիայի փոփոխության արժեքները՝ կախված վերը նշված ջերմաստիճաններից:

Աշխատանքի արդյունքում երևում է, որ հանքավայրի օքսիդացած գոտու պղնձի միներալների սուլֆիդացման ռեակցիաները սիլիցիումի սուլֆիդով, նատրիումի սուլֆիդի համեմատ, ավելի մեծ հավանականություն ունեն ընթանալու: Փոխազդեցությունն ընթանում է Գիբսի էներգիայի մեծ բացասական արժեքով, որը և անհրաժեշտ է պղնձի սուլֆիդների ստացման համար:

Առանցքային բաներ. Թերմուտի հանքավայր, ապար, պղինձ, օքսիդ, միներալ, թերմոդինամիկա, սուլֆիդացում, էներգիա, ռեակցիա:

THERMODYNAMIC JUSTIFICATION OF THE TEGHOUT MINE COPPER OXIDIZED MINERAL SULPHIDATION PROCESS

S.G. Aghbalyan, A.H. Hovsepyan, H.V. Avagyan, A.A. Gabrielyan

A zone of oxidized copper species with relatively rich mineralization is distinguished in the Teghout mine. Minerals of copper tenorit CuO , cuprite- Cu_2O , azurite- $\text{Cu}_3(\text{OH})_2[\text{CO}_3]_2$, malaxit- $\text{Cu}_2(\text{OH})_2[\text{CO}_3]$, and in limited quantities also turquoise- $\text{CuAl}_6(\text{OH})_8[\text{PO}_4]_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ are present in the oxidized zones, so it is necessary to develop new non-traditional, simple and efficient technology of mechanochemical, mechanochemical reduction reactions. In this case, a fundamentally new modified product is obtained by sulphidation of oxidized minerals of copper.

The process of sulphidation of oxidized minerals of copper in Teghout mine is associated with numerous oxidation-reduction reactions. First thermodynamic calculations were carried out to determine the probability of occurrence of reduction reactions of tenorit- CuO , cuprite- Cu_2O , azurite- $\text{Cu}_3(\text{OH})_2[\text{CO}_3]_2$, malaxit- $\text{Cu}_2(\text{OH})_2[\text{CO}_3]$ in interaction with silicon and sulphides of sodium. The theory of energy reduction of Gibbs is taken as a criterion of the reaction under constant pressure and temperature conditions. Gibbs energy was calculated by the method of Temkin-Shvarcstman oxidation-reduction reactions at temperatures 308°C, 318°C, 328°C, 338°C, 348°C. In order to obtain comparative data, calculations were made for 1 mole of sulphidizer. The obtained results give an opportunity to compare the investigated reactions with each other. The results of the thermodynamic calculation show the changes in the energy values of the Gibbs energy depending on the above mentioned temperatures.

The investigation revealed that the reaction of sulphidation of copper minerals of the oxidized copper ores with the sulphide of silicium is carried out with higher probability compared with the sodium sulphide. The interaction proceeds with large negative value which is to obtain copper sulphides.

Keywords: Teghout mine, rock, copper, oxide, mineral, thermodynamics, sulphitation, energy, reaction.