



DOI 10.51885/1561-4212_2025_3_71
FTAXP 53.37.33

ҚҰРАМЫНДА МЫС МӨЛШЕРІ ЖОҒАРЫ ЦИАНИДТІК ЕРІТІНДІЛЕУ ДЕН АЛЫНҒАН ЕРІТІНДІДЕГІ АЛТЫН МЕН МЫСТЫ СОРБЦИЯЛАУ ЖӘНЕ ДЕСОРБЦИЯЛАУ ҮРДІСТЕРІН ЗЕРТТЕУ

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ СОРБЦИИ И ДЕСОРБЦИИ ЗОЛОТА И МЕДИ ИЗ РАСТВОРА ЦИАНИДНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ С ВЫСОКИМ СОДЕРЖАНИЕМ МЕДИ

STUDY OF THE PROCESSES OF SORPTION AND DESORPTION OF GOLD AND COPPER FROM A CYANIDE LEACHING SOLUTION WITH A HIGH COPPER CONTENT

Д.Б. Касымова ^{1,2}, Р.В. Сапинов ^{1,3*}, М.А. Адылканова ¹, Г.А. Реутова ¹

¹Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен қ., Қазақстан

²ВНИИцветмет, Өскемен қ., Қазақстан

³Торайғыров университеті, Павлодар қ., Қазақстан,

*Корреспондент-автор: Сапинов Руслан Викторович, e-mail: sapinov.r@teachers.tou.edu.kz

Түйінді сөздер:

Алтын мыс кендері,
цианидті шаймалау,
тұйық цикл, сорбция,
қиын байытылатын
кендер, десорбция,
қоюлану,
зиянсыздандыру.

ТҮЙІНДЕМЕ

Бұл жұмыста құрамында мыс мөлшері жоғары Қазақстан Республикасы кен орындарының бірінің алтын мыс кенінің бұрын алынған цианидті ерітінділеу нәтижесінде алынған ерітіндідегі алтын мен мысты сорбциялау және десорбциялау үрдістерін зерттеу көрсетілген. Нәтижесінде ерітіндідегі алтынның минималды қалдық мөлшерін қамтамасыз ету үшін сорбция кезеңдерінің минималды саны 4 екендігі анықталды. Сынақтарда көмірде қол жеткізілген ең жоғары алтын мөлшері 2,8 кг/т. Мыс мөлшері 7,2 кг/т болды. Нәтижелерге сәйкес, мыс десорбциясы бойынша сынақтар көрсеткендей, мыс десорбциялық ерітіндіге 73–82 % мөлшерінде өткенде, алтынның осы ерітіндімен бірге жоғалуы 0,1 %-дан аспайды. Мыс мөлшері 0,13 % болған көмірден десорбция дәрежесі 10 сағат бойы 40 °С температурада жүргізілгенде 76,7 % құрап, қалдық мөлшері 0,029 % болды, ал 20 °С температурада – 73,8 % болып, көмірдегі қалдық мөлшері 0,034 % құрайды. Мыс десорбциясының төмендеуіне байланысты 3-4 операциядан кейін ерітіндіні жаңарту керек.

Ключевые слова:

Золотомедные руды,
цианидное выщелачивание,
замкнутый цикл, сорбция,
упорные руды, десорбция,
стущение,
обезвреживание.

АННОТАЦИЯ

В данной работе показано исследование процессов сорбции и десорбции золота и меди из ранее полученного раствора цианидного выщелачивания золотомедной руды одного из месторождений Республики Казахстан с высоким содержанием меди. В результате было установлено, что минимальное количество стадий сорбции для обеспечения минимального остаточного содержания золота в растворе составляет 4. Максимально достигнутое в тестах содержание золота в угле 2,8 кг/т. Содержание меди составляло 7,2 кг/т. Результаты тестов по десорбции меди показали, что при извлечении меди в десорбирующий раствор на 73-82 %, потери золота с этим



раствором не превышают 0,1 %. Степень десорбции меди из угля с содержанием меди 0,13 % при проведении процесса в течение 10 часов при 40 °C составила 76,7 % при остаточном содержании 0,029 %, при температуре 20 °C – 73,8 % при остаточном содержании в угле 0,034 %. По причине снижения степени десорбции меди, после 3-4 операций раствор следует обновлять.

keywords:

Gold-copper ores, cyanide leaching, closed cycle, sorption, refractory ores, desorption, thickening, neutralization.

ABSTRACT

This paper presents a study of the sorption and desorption processes of gold and copper from a previously obtained cyanide leaching solution of gold-copper ore from one of the deposits in the Republic of Kazakhstan with a high copper content. As a result, it was established that the minimum number of sorption stages to ensure the minimum residual gold content in the solution is 4. The maximum gold content achieved in the tests was 2.8 kg/t. The copper content was 7.2 kg/t. The results of copper desorption tests showed that when 73-82% of copper was extracted into the desorbing solution, gold losses with this solution did not exceed 0.1%. The degree of copper desorption from coal with a copper content of 0.13% during a 10-hour process at 40 °C was 76.7% with a residual content of 0.029%, and at a temperature of 20 °C it was 73.8% with a residual content in coal of 0.034%. Due to the decrease in the degree of copper desorption, the solution should be renewed after 3-4 operations.

КІРІСПЕ

Соңғы уақытта алтынның оңай алынатын минералды қорлары азайып келеді (Henckens, 2021; Henckens, et al., 2016). Натрий цианидін қолдану арқылы алтынды алудың дәстүрлі әдістері (Kenzhaliyev, et al., 2023) минералды шикізаттың беріктігіне байланысты тиімділігі төмендейді (Medina, et al., 2020; Xie, et al., 2013) және мыс сияқты зиянды қоспалардың көп мөлшері (Dai, et al., 2012; Sceresini, 2005). Бұл мәселе жыл сайын Қазақстан Республикасы үшін де өзекті болып отыр (Kenzhaliyev, et al., 2023). Құрамында алтыны бар минералды шикізатты өңдеудің тиімділігін арттырудың әртүрлі әдістері бар. Қиын байытылатын кендерді дайындаудың дәстүрлі әдістері – флотациялық байыту және тотығу арқылы күйдіру болып табылады. Сондай-ақ аммиакпен алдын ала өңдеуді қамтитын (Bas, et al., 2015) немесе мысты әртүрлі тәсілдермен тұндыру арқылы жанама коммерциялық өнім ретінде алу әдістері бар (Kassymova, et al., 2024). Қайта өңдеу схемасы шикізаттың нақты құрамына байланысты және әмбебап бола алмайды. Бұл жұмыс сульфидті минералдармен (пирит, арсенопирит және халькопирит) жұқа ассоциацияда орналасқан құрамында мыс мөлшері жоғары Қазақстан кен орындарының бірінің алтын мыс кенін цианидпен ерітінділеу технологиясын зерттеу мен әзірлеудің жалғасы болып табылады (Kassymova, et al., 2025).

Бұл жұмыстың мақсаты бұрын алынған шаймалау ерітіндісінде алтын мен мысты сорбциялау және десорбциялау бойынша зерттеулер жүргізу.

ЗЕРТТЕУДІҢ МАТЕРИАЛДАРЫ МЕН ӘДІСТЕРІ

Барлық тәжірибелер Қазақстан Республикасында, Өскемен қаласында орналасқан «Д.Серікбаев» атындағы ШҚТУ және «ШҒЗТКМИтүсмет» ЕМК Шығыс тау-кен металлургиялық түсті металдар ғылыми-зерттеу институтында» өткізілді. Шикізаттың химиялық құрамын зерттеу үшін «Agilent technologies» (АҚШ) фирмасының ICP-MS 7500sx масс-спектрометрі пайдаланылды. Зерттеу объектісі – «ШҒЗТКМИтүсмет» тәжірибелік-өнеркәсіптік қондырғысында Қазақстан кен орнының алтын мыс кенін шаймалау кезінде алынған ерітінді. Ерітінді ауаны жеткізуге арналған диспергаторлармен және араластыруға арналған араластырғышпен жабдықталған 1,5 м³ үгіткіш ыдыста алынады. Ерітінділеу кезіндегі алынған ерітіндісіндегі натрий цианидінің бастапқы концентрациясы 0,05%



құрады, ерітіндіні натрий цианидінің бастапқы концентрациясына дейін күшейту процесс басталғаннан кейін 2, 4, 6 және 8 сағаттан кейін жүзеге асырылды. Ерітінділеудің жалпы ұзақтығы 24 сағатты құрады. Белсендірілген көмір процеске берілмеді. Ерітінділеу аяқталғаннан кейін ерітінділеу пульпасы сүзу үшін нутч-сүзгісіне берілді. Алтын, күміс, мыс және натрий цианидінің құрамын анықтау үшін сынамалар алынды. Ерітінділеудің қатты қалдықтары сумен шайылып, кептіріліп, алтын, күміс және мыс құрамына химиялық талдау жасалды. Ерітінділеу кезінде алынған ерітіндіде (NaCN 2,49 кг/т кенді тұтыну кезінде) элементтердің жоғарылауы байқалды: мыс 0,59 (г/дм³), темір (0,010-0,084 г/дм³), күкірт (0,2 г/дм³). Алтын мен күмістің мөлшері сәйкесінше 0,78 (мг/дм³) және 0,24 (мг/дм³).

Сорбция бойынша зерттеулер жүргізу. Сорбция бойынша зерттеулер келесі бағыттарда жүргізілді:

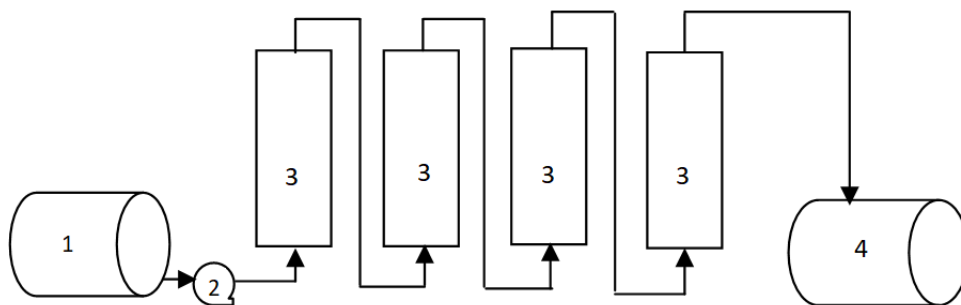
- алтынның минималды қалдық құрамына қол жеткізу үшін сорбция кезеңдерінің минималды санын теориялық анықтау мақсатында сорбция қисықтарын құру;

- сорбцияның динамикалық режиміндегі зерттеулердің анықтамасы – сорбция сатылары бойынша көмірдегі алтынның қол жеткізілетін құрамын анықтау және кейінгі мыс пен алтынды селективті десорбциялау сынақтарын жүргізу үшін қаныққан көмірді дайындау мақсатында жүргізіледі.

- көмірдегі алтынның максималды мөлшерін анықтау.

Сорбция изотермасын құрастыру үшін алтынды ерітінділеу нәтижесінде алынған ерітіндіден әртүрлі ерітінді мен көмір қатынасында сорбциялық тұндыру сынақтары жүргізілді: көмір (1 дм³ ерітіндіге 0,04-тен 200 г көмірге дейін). Сорбция бөлме температурасында 16 сағат бойы механикалық араластыру кезінде әртүрлі сыйымдылықтағы үгіткіштерде жүргізілді. Араластырмалы өңдеу аяқталғаннан кейін сорбциядан кейінгі көмір мен ерітінділер алтын мен мыс құрамына талданды.

Динамикалық режимдегі сорбция сынақтары сұлбасы 1-суретте көрсетілген қондырғыда жүргізілді.



1-сурет. Ерітінділеу кезінде алынған ерітінділердің сорбциялық өңдеудің зертханалық қондырғысының принципті аппаратты сұлбасы: 1 – өнімді ерітіндінің сыйымдылығы;

2 – сорғы; 3 – сорбция бағандары; 4 – алтындатылған ерітіндінің сыйымдылығы

Ескерту: авторлар құрастырған

Сорбция үшін NORIT маркалы цианид ерітінділерінен алтын алу үшін жоғары белсенді түйіршікті белсендірілген көмір пайдаланылды. Сорбциялық тазарту бойынша екінші операцияны жүргізер алдында ерітіндіні неғұрлым толық тазартуды қамтамасыз ету үшін зертханалық қондырғының құрамына жаңа белсендірілген көмірі бар бесінші баған енгізілді. Алдағы кезеңде бірінші колоннаның шығуындағы ерітіндідегі алтынның құрамы 0,5 мг/дм³-тен асқан кезде, бұл колонна сорбция процесінен шығарылып, оның орнына келесі баған ауыстырылды, ал бесінші бағанның орнына жаңа активтендірілген көмірі бар баған енгізілді. Қаныққан көмір шайылды, химиялық талдауға алынды, ал қалған бөлігі мыс десорбциясы сынақтарына жіберілді.

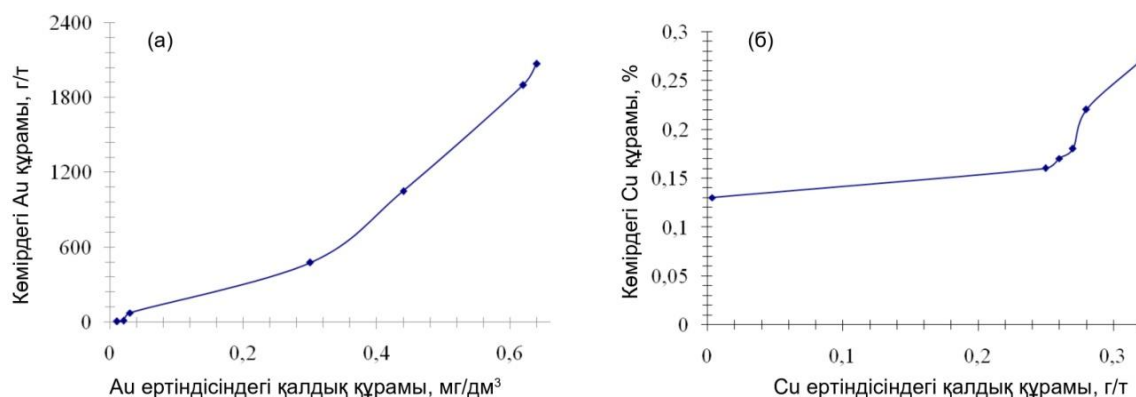


Алтынды десорбциялау бойынша сынақтар жүргізу. Сынақтар 120 °С температурада жоғары қысымды автоклапта жүргізілді.

Мыс десорбциясы бойынша сынақтар жүргізу. Мыс десорбциясының алғашқы сынағы. Десорбцияның ұзақтығы 10 сағат, температурасы 20 °С. Бағаның шыға берісінен шыққан сайын екі сағат сайын мыс пен алтынның құрамына сынама алынды. Мыс десорбциясының екінші сынағы 40 °С температурада жүргізілді, F:T=20:1, араластыру режимінде 10 сағатқа созылды. 10 сағат өткеннен кейін көмір жуылып, мыстың қалдық құрамын анықтауға тапсырылды. Кейінгі десорбция сынақтарында сорбция сынақтарын жүргізу кезінде алынған қаныққан көмірдің әртүрлі партиялары бағанға жүктелді. Сынақтың соңындағы мыс құрамына сынама алынғаннан кейін десорбцияға арналған ерітінді ерітіндідегі мыс жиналуының десорбция көрсеткіштеріне әсерін анықтау мақсатында бірдей пайдаланылды.

НӘТИЖЕЛЕР ЖӘНЕ ОЛАРДЫ ТАЛҚЫЛАУ

Алтын мен мыс сорбциясы сынақтарының нәтижелері. Сорбция сынақтарының нәтижелері 2, а-суретте алтын сорбциясының изотермасы және 2, б-суретте мыс сорбциясының изотермасы берілген



2-сурет. Алтын (а) және мыс (б) сорбциясының изотермасы

Ескерту: авторлар құрастырған

Ерітіндіні сорбциялық өңдеу нәтижелері 1-кестеде келтірілген.

1-кесте. Ерітіндіні сорбциялық өңдеу нәтижелері

Сорбциялық бағандарға ерітіндіні беру жылдамдығы		Ерітінді мөлшері, дм ³	Ерітіндідегі құрамы, мг/дм ³ баған бойынша									
Дм ³ /сағ	м ³ /т көмір/сағ		I баған		II баған		III баған		IV баған		V баған	
			Au	Ag	Au	Ag	Au	Ag	Au	Ag	Au	Ag
2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
8,76	134,8	160	0,17	0,17	0,10	0,13	0,034	0,065	0,014	0,037		
		200	0,34	0,28	0,20	0,13	0,10	0,10	0,045	0,06		
6,0	92,3	100	0,43	0,43	0,2	0,24	0,032	0,15	0,016	0,10	0,016	0,10
		100	0,60	0,32	0,46	0,24	0,26	0,30	0,19	0,25	0,022	0,20
		100	0,50	0,50	0,29	0,35	0,16	0,32	0,076	0,23	0,029	0,13
		100	0,53	0,41	0,29	0,36	0,19	0,29	0,11	0,25	0,054	0,19
		100	0,47	0,36	0,40	0,34	0,26	0,32	0,12	0,24	0,023	0,097
		100	0,49	0,37	0,41	0,31	0,24	0,30	0,12	0,22	0,04	0,13
Ескерту: авторлар құрастырған												

Ескерту: авторлар құрастырған



Екі сорбция циклінен кейін қаныққан көмірдің химиялық құрамы 2-кестеде келтірілген

2-кесте. «Юбилейное» кен орнының кенді ерітінділеу кезінде алынған ерітінділерін сорбциялық тазартудан кейін көмірдің химиялық құрамы

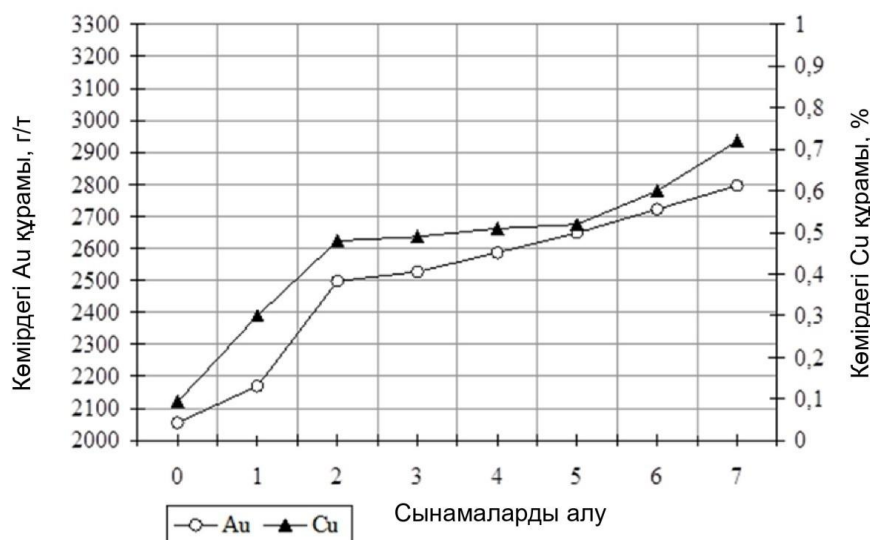
Баған	Көмірдегі құрамы				
	Au, г/т	Ag, г/т	Cu, %	Ca, %	Mg, %
1 цикл					
1	2193,0	667,0	0,13	2,55	0,11
2	2056,0	338,0	0,093	1,36	0,065
3	2173,0	801,0	0,085	1,22	0,051
4	849,6	167,5	0,12	1,45	0,063
2 цикл					
1	1812,5	605,0	0,34	1,41	0,059
2	1371,5	577,0	0,37	1,03	0,053
3	707,0	382,0	0,36	0,98	0,047
4	292,5	294,0	0,40	0,97	0,044
Ескерту: авторлар құрастырған					

Динамикалық режимдегі сорбция сынақтарында көмірдегі алтынның мөлшері 2,2 кг/т аспағандығына байланысты көмірдің максималды қанықтылығын анықтау үшін қосымша сынақтар қойылды. Көлемі 200 дм³, құрамында 0,78 мг/дм³ алтын және 0,59 г/дм³ мыс бар ерітінді тұйық режимде 18 дм³/сағ жылдамдықпен 2056 г/т көмірде алтын және 0,093% мыс бар 10 г мөлшеріндегі көмірі бар баған арқылы өткізілді. Әр 8 сағат сайын көмірдегі алтын мен мыс құрамын анықтау үшін көмір сынамалары алынды. Тест нәтижелері 4-кестеде және 3-суретте көрсетілген.

3-кесте. Сорбциялық тазартудан кейінгі көмірдің химиялық құрамы

№ р/с	Көмірдегі құрамы	
	Au, г/т	Cu, %
0	2056,0	0,093
1	2170,0	0,30
2	2498,0	0,48
3	2526,5	0,49
4	2587,0	0,51
5	2649,0	0,52
6	2722,5	0,60
7	2797,0	0,72
Ескерту: авторлар құрастырған		

Алтын мен мыс сорбциясының десорбциялық сынақтарының нәтижелері. Мыс бойынша алғашқы десорбция сынағы алтынның құрамы 2193 г/т және мыстың құрамы 0,13 % (1,3 кг/т) болатын көмірде жүргізілді. Десорбция ерітіндісіндегі сілтінің концентрациясы 20 г/дм³, натрий цианиді – 5,0 г/дм³ болды. Десорбцияның ұзақтығы – 10 сағат, температурасы – 20 °С. Элюция жылдамдығы 0,118 дм³/сағ болды. Әр екі сағат сайын бағаннан шыққан кезде мыс пен алтынның құрамына сынама алынды.



3-сурет. Ерітінділеу нәтижесінде алынған ерітінділерден алтын мен мыс сорбциясы кезіндегі көмірдің қанығу динамикасы

Ескерту: авторлар құрастырған

Десорбция ерітінділерінің құрамы және мыс пен алтынның есептелген десорбция дәрежелері 5-кестеде келтірілген. Көмірдегі мыстың қалдық мөлшері 0,034 % құрады. Мыс десорбциясының екінші сынағы 40°C температурада жүргізілді, F:T=20:1, араластыру режимінде 10 сағатқа созылды. Сынақ құрамында мыс мөлшері 0,13 % (1,3 кг/т) болатын көмірде жүргізілді. Десорбция ерітіндісіндегі сілтінің концентрациясы 20 г/дм³, натрий цианиді – 0,5 г/дм³ болды. 10 сағаттан кейін көмір шайылып, 0,029 % құрайтын мыстың қалдық құрамын анықтауға тапсырылды.

4-кесте. Мыс десорбциясының бірінші сынағының нәтижелері

Ұзақтығы, сағ	Мыс			Алтын		
	Ерітіндідегі мөлшері, г/дм ³	Десорбция дәрежесі, %		Ерітіндідегі құрамы, мг/дм ³	Десорбция дәрежесі, %	
		кезең ішінде	Кумулятивтік		кезең ішінде	Кумулятивтік
2	0,024	14,5	14,5	0,036	0,013	0,013
4	0,032	19,4	33,9	0,048	0,017	0,030
6	0,030	18,1	52,0	0,054	0,019	0,049
8	0,022	13,3	65,3	0,060	0,021	0,070
10	0,018	10,9	76,2	0,054	0,019	0,089

Ескерту: авторлар құрастырған

Кейінгі десорбция сынақтарында сорбция сынақтарын жүргізу кезінде алынған қаныққан көмірдің әртүрлі партиялары бағанға жүктелді. Сынақтың соңындағы мыс құрамына сынама алынғаннан кейін десорбцияға арналған ерітінді ерітіндідегі мыс жиналуының десорбция көрсеткіштеріне әсерін анықтау мақсатында бірдей пайдаланылды. Мыс десорбциясы сынақтарының нәтижелері 5-кестеде келтірілген.



5-кесте. Мыс десорбциясы сынақтарының нәтижелері

№ р/с	Көмірдегі мыстың бастапқы мөлшері, %	Ерітіндідегі мыс мөлшері, г/дм ³	Көмірдегі мыстың қалдық мөлшері, %	Десорбция дәрежесі, %
1	0,13	0,028	0,034	73,8
2	0,13	0,047	0,023	82,3
3	0,093	0,068	0,033	64,5
4	0,085	0,084	0,056	34,1
5	0,085	0,092	0,062	27,1
Цианид натрий және сілтінің концентрациясы барлық циклдарда бірдей болып қалды				
Ескерту: авторлар құрастырған				

Алтынды десорбциялау бойынша сынақтар жүргізу. Алтынды десорбциялау бойынша сынақтар құрамында 1659,0 г/т алтын, 410,0 г/т күміс және 370 г/т мыс бар көмірде жүргізілді. Сынақтар жоғары қысымды автоклавта 120 °С температурада жүргізілді. Алтынды десорбциялау үшін сілтілік концентрациясы 20 г/дм³, натрий цианиді – 1,0 г/дм³ болатын ерітінді қолданылды.

Алтынның десорбциясы аяқталғаннан кейін көмірдегі алтынның қалдық мөлшері – 60 г/т, күміс – 110 г/т және мыс 45 г/т болды. Десорбция ерітінділеріндегі алтын мөлшері 80 мг/дм³, күміс – 15 мг/дм³ және мыс 0,016 г/дм³ құрады.

ҚОРЫТЫНДЫ

Сорбция сынақтарының нәтижелері мынаны көрсетті:

– ерітіндідегі алтынның минималды қалдық мөлшерін қамтамасыз ету үшін сорбция кезеңдерінің минималды саны 4 құрайды;

– көмірдегі мыс мөлшері алтыннан едәуір асып түседі. Сынақтарда қол жеткізілген көмірдегі алтынның мөлшері 2,8 кг/т аспады, мыс мөлшері 2,5 есе жоғары және 7,2 кг/т (0,72 %) құрады.

Мыс десорбциясы сынақтарының нәтижелері:

– мысты десорбциялау режимі селективтілік бойынша қанағаттанарлық нәтижелер көрсетті: мыс десорбциялау ерітіндісіне 73-82 %-ға шығарғанда, осы ерітіндімен алтынның жоғалуы 0,1-ден аспайды %;

– мыс құрамасы 0,13 % болатын көмірден 10 сағат бойы 40 °С температурада жүргізілген процесс кезінде мыс десорбциясының деңгейі 76,7 % болып, қалдық құрам 0,029 % болды; 20 °С температурада – десорбция 73,8 % құрап, көмірдегі қалдық құрам 0,034 % болды.

– көмірдің жаңа партияларын десорбциялау үшін бірдей ерітіндіні қолдану мыстың десорбция дәрежесінің біртіндеп төмендеуіне әкеледі. 3-4 операциядан кейін ерітіндіні жаңарту керек сияқты.

МҮДДЕЛЕР ҚАҚТЫҒЫСЫ: Авторлар мүдделер қақтығысының жоқтығын мәлімдейді.

ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫН ПАЙДАЛАНУ ТУРАЛЫ ХАБАРЛАМА: Авторлар өз жұмыстарын дайындаудың әртүрлі кезеңдерінде жасанды интеллект (ЖИ) құралдарын пайдаланбаған.



ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- Henckens, T. (2021). Scarce mineral resources: Extraction, consumption and limits of sustainability. *Resources, Conservation and Recycling*, 169, 105511. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105511>
- Henckens, M.L.C.M., Ierland, E.C., Driessen, P.P.J., Worrell E. (2016). Mineral resources: Geological scarcity, market price trends, and future generations. *Resources Policy*, 49, 102–111. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2016.04.012>
- Kenzhaliyev, B.; Surkova, T.; Yessimova, D.; Abikak, Y.; Mukhanova, A.; Fischer, D. On the Question of the Complex Processing of Pyrite Cinders. *Inorganics*, 2023, 11, 171.
- Medina, D., Anderson, C.G. (2020). A Review of the Cyanidation Treatment of Copper-Gold Ores and Concentrates. *Metals*, 10, 897. <https://doi.org/10.3390/met10070897>
- Xie, F., Dreisinger, D., Doyle, F. A Review on Recovery of Copper and Cyanide from Waste Cyanide Solutions. *Miner. Process. Extr. Metall. Rev.* **2013**, 34, 387–411. <http://dx.doi.org/10.1080/08827508.2012.695303>
- Dai, X., Simons, A., Breuer, P. (2012). A review of copper cyanide recovery technologies for the cyanidation of copper containing gold ores. *Minerals Engineering*, 25(1), 1–13, <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2011.10.002>
- Sceresini, B. (2005). Gold-copper ores. *Developments in Mineral Processing*, Elsevier, 15, 789–824. [https://doi.org/10.1016/S0167-4528\(05\)15032-7](https://doi.org/10.1016/S0167-4528(05)15032-7)
- 2.Kenzhaliyev, B., Surkova, T., Koizhanova, A., Yessimova, D., Amanzholova, L., & Dosymbayeva, Z. (2023). Study of the Cyanide Leaching of Gold from Low-Grade Raw Materials in the Presence of Amino Acids. *Inorganics*, 11(12), 461. <https://doi.org/10.3390/inorganics11120461>
- Bas, A.D., Koc, E., Yazici, E.Y., Devci, H. (2015). Treatment of copper-rich gold ore by cyanide leaching, ammonia pretreatment and ammoniacal cyanide leaching. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 25 (2), 597-607. [https://doi.org/10.1016/S1003-6326\(15\)63642-1](https://doi.org/10.1016/S1003-6326(15)63642-1).
- Kassymova, D., Sapinov, R., Kushakova, L., Kulenova, N., Shoshay, Z., & Adylkanova, M. (2024). Optimization of Copper Recovery from Cyanide Leaching Solutions Used in Gold–Copper Ore Processing Using Probabilistic–Deterministic Experimental Design. *Processes*, 13(1), 61. <https://doi.org/10.3390/pr13010061>
- Kassymova, D., Sapinov, R., Kulenova, N., Adylkanova, M. (2025) Study of the material composition of gold-copper ores from Kazakhstani deposits. *Science and technology of Kazakhstan*, 1, 248–258. <https://doi.org/10.48081/HAHW3828>

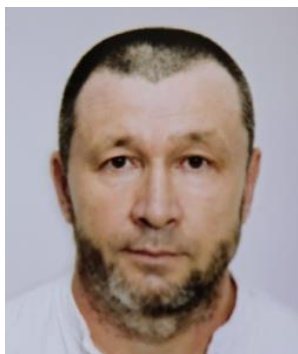
Авторлар туралы мәліметтер Информация об авторах Information about authors



Касымова Динара Бекжановна – докторант, Д.Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен, Қазақстан

Касымова Динара Бекжановна – докторант, Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, Казахстан

Kassymova Dinara Bekzhanovna – doctoral student, East Kazakhstan Technical University named after D. Serikbaev, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan,
e-mail: dinara_kassymova@mail.ru,
ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-0937-8477>,



Сапинов Руслан Викторович – PhD, Торайғыров университеті, Павлодар қ., Қазақстан

Сапинов Руслан Викторович – PhD, Торайғыров университет, г. Павлодар, Казахстан

Ruslan Viktorovich Sapinov – PhD, Toraighyrov University, Pavlodar, Kazakhstan

e-mail: sapinov.r@teachers.tou.edu.kz,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9334-5806>,



Әділқанова Меруерт Әділқанқызы – PhD, Д.Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен қ., Қазақстан

Әділқанова Меруерт Әділқанқызы – PhD, Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, Казахстан

Meruyert Adilkanova Adilkankyzy – PhD, East Kazakhstan Technical University named after D. Serikbaev, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan,

e-mail: milka160281@mail.ru,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8193-116X>,



Реутова Галина Александровна – т.ғ.к., қауым. проф., Д.Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен, Қазақстан

Реутова Галина Александровна – к.т.н., ассоц. проф., Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, Казахстан

Reutova Galina Alexandrovna – candidate of Technical Sciences, associate professor, East Kazakhstan Technical University named after D. Serikbaev, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan,

e-mail: greutova.42@mail.ru ,

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-5905-2687>