

НАТРИЙ СУЛЬФИДІНІҢ ҚОСҚҰДЫҚ КЕН ОРЫНДАРЫНЫҢ ТОТЫҚҚАН ҚОРҒАСЫН-МЫРЫШ КЕНДЕРІНЕ ӘСЕРІН ЗЕРТТЕУ

А.Р. Мамбеталиева , А. Мухтарқызы , М.Р. Шаутинов 

Satbayev University, Алматы, Казахстан

 Корреспондент-автор: a.mambetalieva@satbayev.university

Тотыққан қорғасын-мырыш кендері өндеудің күрделілігіне байланысты ұзақ уақыт бойы толық пайдаланылмады. Бірақ, қорғасын-мырыш сульфидті кендерінің тез сарқылуына байланысты тотыққан кендерді пайдалану тиімділігін арттыру қажет. Оксид кендерін алдын-ала байытудың әмбебап әдістерінің бірі - флотация. Дегенмен, қорғасын-мырыш оксидінің минералдарының гидрофильдік қасиетінің жоғары болуы, флотация әдісін қолдануды қиындатады, сонымен қатар мырыш иондарының беткі ерігіштігі, бұл процестің тиімділігін одан әрі төмендетеді. Бұл қиындықтарды жеңу үшін сульфидизация әдісінің маңызы жоғары, ол тотыққан минералдардың беткі қасиеттерін өзгертеті және флотацияға дайындайды.

Бұл жұмыста Қосқұдық кен орнының тотыққан кен сынамасындағы қорғасын минералдарын байыту тиімділігін арттыру мақсатында натрий күкіртін сульфидизатор ретінде қолданылуына ерекше мән беріледі. Қорғасын алуды барынша арттыру үшін натрий күкіртінің оңтайлы шығынын анықтау бойынша зерттеу жүргізілді. Негізгі қорғасын флотациясы кезінде бұл реагенттің басқа да металлдардың, оның ішінде алтын, күміс және мырыштың, бөлініп алынуына әсері зерттелді. Зерттеу нәтижесінде натрий күкіртінің шығыны 700 г/т болғанда қорғасынның байыту тиімділігі 10,8% - ға (34,3-тен 45,1% - ға дейін) артады. Алынған нәтижелер қорғасын-мырыш өнеркәсібінің тұрақты дамуын қамтамасыз етудегі өзекті болатын тотыққан кендерін өндеу тиімділігін арттыруда негізгі параметрлерін анықтауға мүмкіндік береді.

Түйін сөздер: пайдалы қазбаларды байыту, флотация, тотыққан минералдар, қорғасын, байыту тиімділігі, фазалық талдау, күкіртті натрий.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СУЛЬФИДИРОВАНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ СЕРНИСТОГО НАТРИЯ НА ОКИСЛЕННЫЕ СВИНЦОВО-ЦИНКОВЫЕ РУДЫ МЕСТОРОЖДЕНИЯ КОСКУДУК

А.Р. Мамбеталиева , А. Мухтарқызы, М.Р. Шаутинов

*Satbayev University, Алматы, Казахстан,
e-mail: a.mambetalieva@satbayev.university*

Окисленные свинцово-цинковые руды долгое время оставались недостаточно использованными из-за сложности их переработки. Однако в условиях быстрого истощения запасов свинцово-цинковых сульфидных руд возникает острая необходимость в повышении эффективности использования этих оксидных руд. Одним из наиболее универсальных методов предварительного обогащения оксидных руд является флотация. Однако свинцово-цинковые оксидные минералы обладают высокой гидрофильностью, что затрудняет их флотацию, а также они склонны к растворению ионов металлов на поверхности, что дополнительно снижает эффективность процесса. Для преодоления этих проблем важную роль играет сульфидизация, которая позволяет модифицировать поверхностные свойства окисленных минералов, делая их более пригодными для флотации.

В данной работе особое внимание уделяется влиянию сернистого натрия как сульфидизатора на эффективность обогащения свинцовых минералов в пробе окисленной руды с месторождения Коскудук. Было проведено исследование по определению оптимального расхода сернистого натрия для максимизации извлечения свинца. Дополнительно анализировалось влияние данного реагента

на извлечение других металлов, таких как золото, серебро и цинк, в процессе основной свинцовой флотации. Полученные результаты позволяют определить ключевые параметры для повышения эффективности переработки оксидных руд, что актуально для обеспечения устойчивого развития свинцово-цинковой промышленности.

Ключевые слова: обогащение полезных ископаемых, флотация, окисленные минералы, свинец, эффективность обогащения, фазовый анализ, сернистый натрий.

ON OXIDIZED LEAD-ZINC ORES OF THE KOSKUDUK DEPOSIT INVESTIGATION OF THE EFFECT OF SULFIDATION USING SODIUM SULPHIDE ON OXIDIZED LEAD-ZINC ORES OF THE KOSKUDUK DEPOSIT

A.R. Mambetaliyeva[✉], A. Mukhtarkyzy, M. Shautenov

Satbayev University, Almaty, Kazakhstan,
e-mail: a.mambetaliyeva@satbayev.university

Oxidized lead-zinc ores remained underused for a long time due to the complexity of their processing. However, in conditions of rapid depletion of reserves of lead-zinc sulfide ores, there is an urgent need to increase the efficiency of using these oxide ores. One of the most universal methods of pre-enrichment of oxide ores is flotation. However, lead-zinc oxide minerals have high hydrophilicity, which makes their flotation difficult, and they are also prone to dissolution of metal ions on the surface, which further reduces the efficiency of the process. To overcome these problems, sulfidization plays an important role, which makes it possible to modify the surface properties of oxidized minerals, making them more suitable for flotation.

In this work, special attention is paid to the effect of sodium sulfide as a sulfidizer on the efficiency of enrichment of lead minerals in a sample of oxidized ore from the Koskuduk deposit. A study was conducted to determine the optimal consumption of sodium sulfide to maximize lead recovery. Additionally, the effect of this reagent on the extraction of other metals, such as gold, silver and zinc, during the main lead flotation was analyzed. The results obtained allow us to determine the key parameters for improving the efficiency of processing oxide ores, which is important for ensuring the sustainable development of the lead-zinc industry.

Keywords: mineral enrichment, flotation, oxidized minerals, lead, enrichment efficiency, phase analysis, sodium sulfide.

Кіріспе. Өнеркәсіптік өндірісте мырыш пен қорғасын маңызды элемент, қорғасын ерекше қасиеттеріне байланысты (жоғары тығыздылығы, төмен балқу температурасы және жоғары икемділігі) аккумуляторлар, құрылыс материалдары және радиациядан қорғау жабдықтарын өндіру үшін шикізат ретінде кеңінен қолданылады. Жоғары беріктігі, тозуға және коррозияға төзімділігі бар мырыш негізінен металл бұйымдарын және легирленген материалдар мен құрғақ батареяларды өндіру үшін қолданылады [1].

Құрамында қорғасын-мырыш сульфидтері бар сульфидті кендер ұзақ уақыт бойы игерілуде, бірақ бай, оңай байытлатын кендер біртіндеп азайуда. Соңғы жылдары ресурстармен қамта-

масыз етудің тенденциясының төмендеуі байқалуда, бұл өз кезегінде қорғасын мен мырышқа өсіп келе жатқан сұранысты қанағаттандыру мүмкіндігінің төмендеуіне әкеледі [2]. Дегенмен, қорғасын-мырыш кендерінің қоры ауқымды, бірақ олар минералдар қасиетінің күрделілігімен, ұсақ түйіршікті тау жыныстарының дақтарының болуымен, еритін тұздардың жоғары болуымен сипатталады, бұл олардың пайдаланылуын төмендетеді [3-6]. Сондықтан қорғасын мен мырыш тотықтарының ресурстарын өндірудің экологиялық тұрғыда таза, тиімді және үнемді технологияларын құруға бағытталған зерттеулер мен жобалар жүргізу қажет.

Пайдаланудың қарапайымдылығы, өзіндік құ-

нының төмендігі сияқты артықшылықтары бар флотация тәсілі – қорғасын-мырыш кендерін алдын ала байытудың негізгі әдісі. Минералдардың гидрофильдік қасиетіне байланысты пайдалы қазбалардың флотациялық әдіспен байытуға әсер ететін негізгі фактор, қорғасын-мырыш тотыққан минералының бетінің гидрофильділігін төмендету үшін, әдетте, минералдың бетінде сульфидті қабыршықты қалыптастыру үшін, сульфидті қайта құру қолданылады, осылайша флотациялық байытуда тиімділікті арттыру мақсатында минералдың беткі қасиеттерін өзгертеді [7]. Сульфидизация әдістеріне негізінен беттік сульфидизация, күйдіру, механохимиялық және гидротермиялық сульфидизациялар жатады [8, 9]. Алайда, сульфидизацияның жоғары шығындары мен пайдалану қиындықтарына байланысты сульфидті күйдіру, механохимиялық және гидротермиялық сульфидизация өнеркәсіпте кеңінен қолданылмайды. Қазіргі уақытта өнеркәсіп-

тік өндіріс негізінен қорғасын-мырыш тотыққан минералдарының бетін өңдеу үшін күкірт тұзетін агенттерді пайдаланады. Сульфидті өңдеуден кейін тотыққан минералдардың бетінде пайда болатын сульфидті жұқа қабық борпылдақ және кеуекті құрылымға ие; ол тотыққан минералдардың гидрофобтылығын күшейте алғанымен, флотация процесінде кен целлюлозасын араластыру нәтижесінде пайда болатын ығысу күштерінің әсерінен сульфидті пленка десорбцияға бейім болады [10]. Флотациялық реагенттерді қосу тотыққан минералдардың бетіндегі сульфидизация жылдамдығын тиімді арттырады және сульфидті жұқа қабықтың бетіндегі механикалық беріктігін жақсартады, осылайша сульфидті агенттің сульфидтік әсерін күшейтеді [11]. Сонымен қатар, бақылау жұмысының дұрыс орындалуы үшін сульфидизациялау реагентінің мөлшеріне және суспензияның рН деңгейіне аса мән беру қажет [12].

1 - кесте. Қосқұдық кен орнының тотыққан кенін химиялық фазалық талдау нәтижелері

Компоненттердің атауы	Құрамы	
	абсолютті, %	салыстырмалы, %
Мырыштын бейімделу формасы:		
- Суда еритін	< 0,05	-
- Тотыққан	0,25	38,5
- Сульфидтер	0,08	12,3
- Ерімейтін	0,32	49,2
Жиынтық	0,65	100,0
Қорғасынның бейімделу формасы:		
- Құрамында оттегі бар	0,54	65,8
- Галенит	0,14	17,1
- Қалдық формалар	0,14	17,1
Жиынтық	0,82	100,0
Темірдің бейімделу формасы:		
- Сульфидтер	< 0,05	-
- Екі валентті Fe ²⁺	3,06	48,6
- Үш валентті Fe ³⁺	3,24	51,4
Жиынтық	6,30	100,0

Бұл жұмыста Қосқұдық кен орнының сынамасының заттық құрамының зерттеу нәтижелері және тоттыққан кендердегі реагенттің беттік флотациялық қасиетінің ашық тәжірибе нәтижелері ұсынылған.

Материалдар мен әдістер. Зерттеу нысаны – Қазақстандағы Қосқұдық кен орнының тоттыққан қорғасын-мырыш кендері.

Қарастырылып отырған кендер мен байыту өнімдерінің заттық құрамы атомдық-абсорбциялық талдау, атомдық-эмиссиялық талдау, классикалық химиялық және фотометриялық талдау, талдау жұмыстарын жүргізуге арнайы дайындалған өкілдік сынамалардағы сынамалық гравиметриялық талдау тобы әдісімен анықталды.

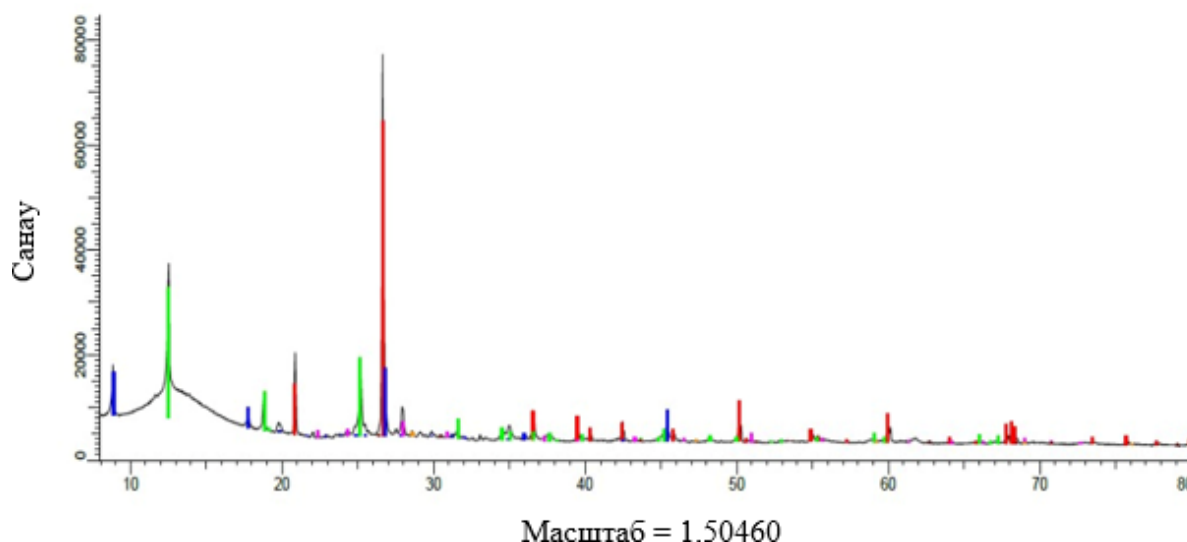
Минералогиялық сипаттама үшін, орташа сынамалардан басқа, кенді минералдануы бар негізгі жыныстардың үлгілері таңдалды, олардан мөлдір тегістеуіштер мен жылтыратылған тегістеуіштер жасалды. Оларды зерттеу қазіргі заманғы жабдықта физика-химиялық зерттеулер зертха-

насында жүргізілді: OLUMPUS BX 51 POL микроскопы., simagis 2R-2C бейнекамерасын және SIAMS минералды талдауға арналған бағдарламалық жасақтаманы қолдануымен.

Нәтижелер және талқылау. Заттық құрамының зерттеу нәтижесінде қарастырылып отырған тоттыққан кеннің сынамасында 0,82 - 0,85% қорғасын және 0,6 – 0,65% мырыш бар екені анықталды, мыс мөлшері төмен (0,02%) және өнеркәсіптік қызығушылық тудырмайды.

Кенде асыл металдардың мөлшері: 0,6 г/т деңгейінде алтын және 5,5 г/т деңгейінде күміс бар.

1 - кестеде фазалық химиялық талдау нәтижелері көрсетілген және қарастырылып отырған сынама тоттыққан түрге жатады, себебі қорғасын тоттыққан және силикат қосылыстарымен есептегенде салыстырмалы құрамы 82,9% тең, ал мырыш - 87,7%. Темір толығымен дерлік тоттыққан күйде екенін атап өтуге болады, өйткені темірдің сульфидті формалары өте аз – 0,05% (абсолютті құрамы).



1 - сурет. Қосқұдық тоттыққан кен сынамасының дифрактограммасы

Қарастырылып отырған тоттыққан кен сынамасына Bruker (Германия) D8-ADVANCE дифрактометрінде күрделі минералогиялық құрамына талдаулар жүргізілді. Қарастырылып отырған

кен сынамасының бастапқы дифрактограммасының нәтижелері 1 – суретте, 2-кестеде-цифрлық түрде келтірілген.

2 - кесте. Қосқұдық кен орнының тотыққан кенінің бастапқы сынамасының минералогиялық құрамы

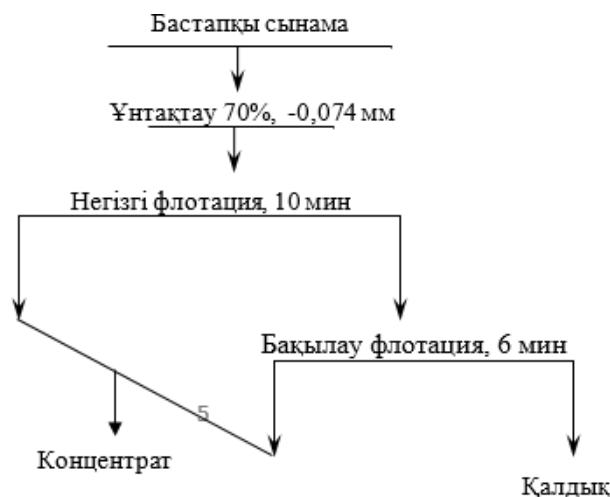
Негізгі минералдар мен комплекстер	Кендегі құрамы, %
Қорғасын сульфидтері (галенит)	0,16
Қорғасынның тотыққан және қалдық түрлері	0,89
Мырыш сульфидтері (сфалерит)	0,12
Мырыштын тотыққан және қалдық түрлері	1,07
Мыс минералдары	0,04
Темір сульфидтері (пирит)	0,05
Темірдің тотыққан түрлері (гетит, гематит)	4,51
Слюда минералдары (альбит, мусковит, клинохлор және тб.)	53,44
Кварц	30,95
Басқалары	8,77
Барлығы	100,00

Атап өтетін жағдай, кенді және байыту өнімдерін минералогиялық талдауы гидратталған материалдың жұқа шламдары мен суспензияларының барын және де сульфидті минералдардың оксидтермен (пирит гетит және гематит) алмасу процессінің кең таралғанын анықтады, ал қалған сульфидті минералдардың минералогиялық талдауда анықталағандарының көлемі флотациямен бөліп алынбайтын көлемде (5 мкм-ден аз).

Тотығу дәрежесі бойынша, құрылымдық-

текстуралық сипаттамалары бойынша және қиылысу мөлшері бойынша қарастырылып отырған тотыққан кендері Қосқұдық кен орнының байытылуы қиын түрлеріне жатады.

Тотыққан кендердің флотациялық зерттеуі натрий күкіртінің режимін анықтаудан басталды. 2-суретте өткізілген тәжірибенің сызбасы көрсетілген. Тәжірибе кезінде алынған нәтижелер 3-кестеде көрсетілген.



2 - сурет. Натрий күкірттің флотация процесіне әсерін сынау бойынша ашық тәжірибелер сызбасы

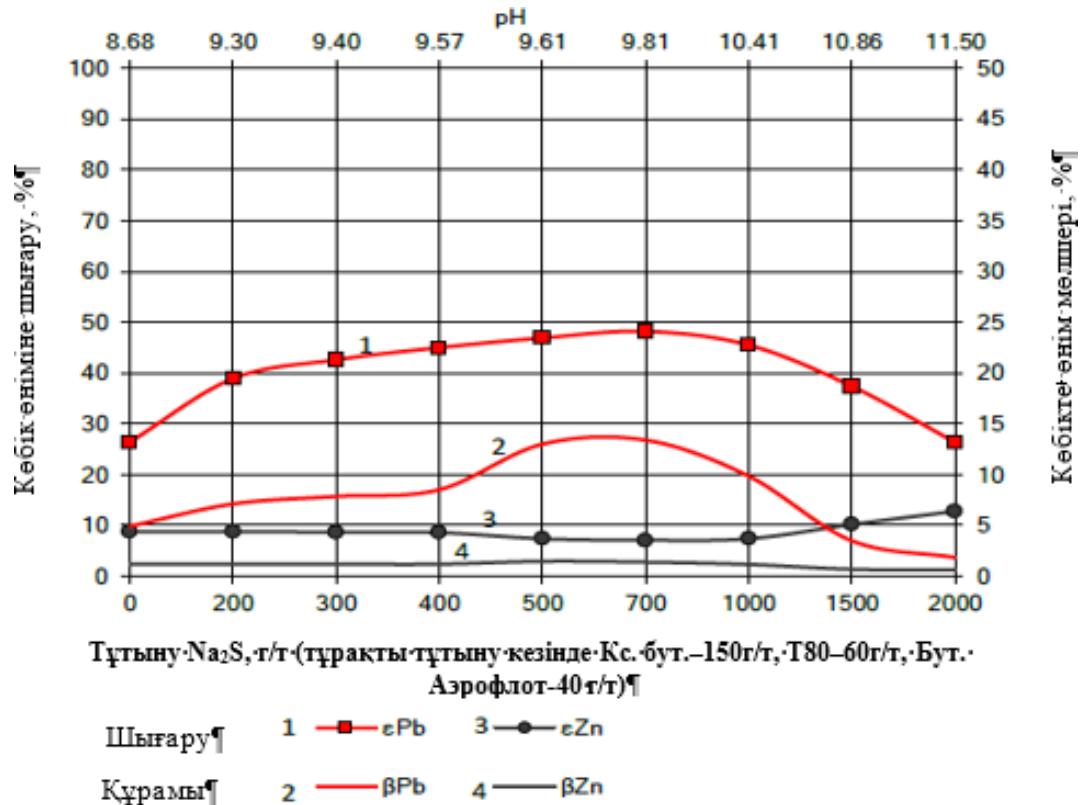
Алынған сынақ тәжірибелерінің нәтижелері негізінде реагенттердің келесі мөлшері ұсынылады:

- бутил ксантогенаты - 200 г/т;
- көбіктендіргіш (Т-80) – 60 г/т;
- бутил аэрофлоты – 60 г/т.

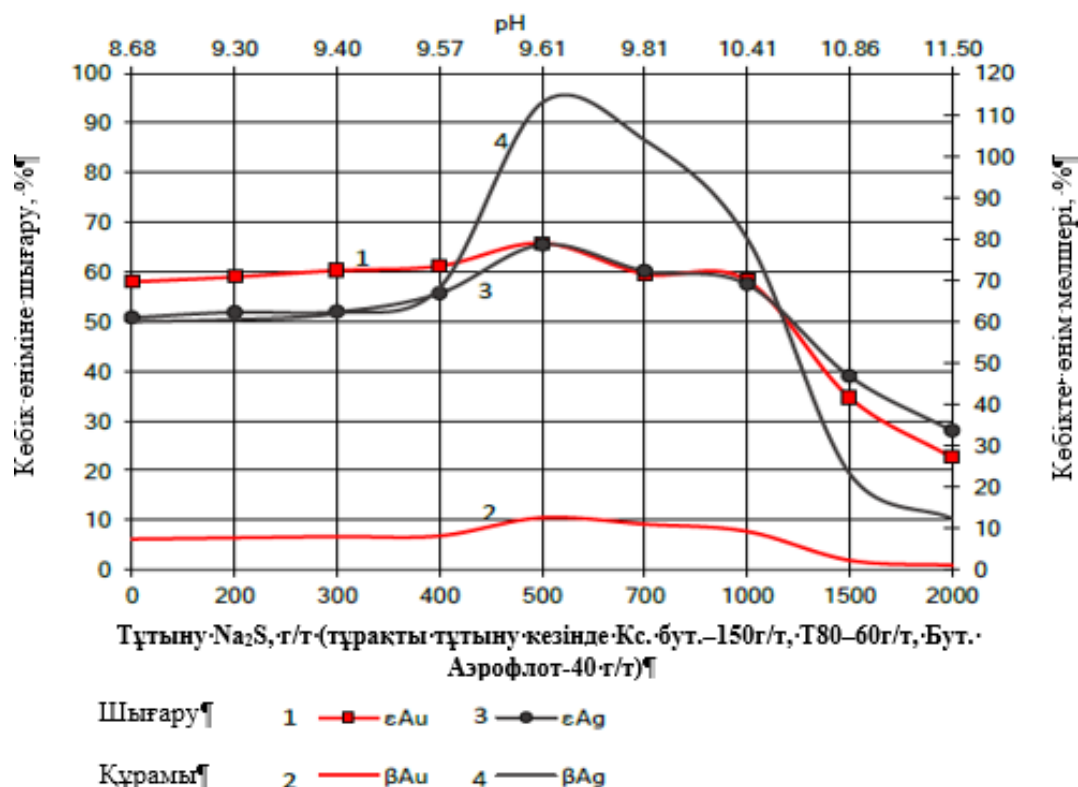
3 - кесте. - Натрий сульфатын қолдана отырып, Қосқұдық (ҚО) кен орнының тотыққан кенінің бастапқы сынамасын флотациялау бойынша ашық тәжірибелердің нәтижелері

Өнімдердің атауы	Шығуы, %	Құрамы, %					Байыту дережесі					Байыту тиімділігі $\varepsilon-\gamma, Pb$
		Pb	Zn	Au*	Ag*	Fe	Pb	Zn	Au	Ag	Fe	
«0» тәжірибе; pH-8,68												
Концентрат	4,6	4,92	1,20	7,44	60,0	6,69	26,40	8,80	58,00	50,80	4,90	21,80
Қалдық	95,4	0,66	0,60	0,26	2,80	6,28	73,60	91,20	42,00	49,20	95,10	
Басты сынама	100,0	0,86	0,63	0,59	5,43	6,30	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	
Na2S – 200 г/т; pH – 9,30												
Концентрат	4,60	7,12	1,20	7,75	60,50	6,34	38,9	8,80	59,00	51,90	4,60	34,30
Қалдық	95,40	0,54	0,60	0,26	2,70	6,30	61,10	91,20	41,00	48,10	95,40	
Басты сынама	100,0	0,84	0,63	0,60	5,36	6,30	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	
Na2S – 300 г/т; pH – 9,40												
Концентрат	4,50	7,86	1,20	8,07	62,00	6,28	42,60	8,70	60,30	52,00	4,50	38,10
Қалдық	95,50	0,50	0,59	0,25	2,70	6,30	57,4	91,30	39,70	48,00	95,50	
Басты сынама	100,0	0,83	0,62	0,60	5,37	6,30	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	
Na2S – 400 г/т; pH – 9,57												
Концентрат	4,40	8,52	1,20	8,22	68,20	6,24	45,00	8,60	61,20	55,70	4,40	40,60
Қалдық	95,60	0,48	0,59	0,24	2,50	6,30	55,00	91,40	38,80	44,30	95,60	
Басты сынама	100,0	0,83	0,62	0,59	5,39	6,30	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	
Na2S – 500 г/т; pH – 9,61												
Концентрат	3,10	13,0	1,48	12,6	112,9	6,20	46,90	7,40	65,80	65,50	3,10	43,80
Қалдық	96,90	0,47	0,59	0,21	1,90	6,30	53,10	92,60	34,20	34,50	96,9	
Басты сынама	100,0	0,86	0,62	0,59	5,34	6,30	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	
Na2S – 700 г/т; pH – 9,81												
Концентрат	3,10	13,4	1,40	11,1	103,9	5,96	48,2	7,10	59,60	60,20	2,90	45,10
Қалдық	96,90	0,46	0,59	0,24	2,20	6,31	51,80	92,90	40,40	39,80	97,10	

Басты сынама	100,0	0,86	0,62	0,58	5,35	6,30	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	
Na2S – 1000 г/т; pH – 10,41												
Концентрат	3,90	9,86	1,17	9,29	80,10	5,94	45,50	7,40	58,30	57,50	3,70	41,60
Қалдық	96,10	0,48	0,59	0,27	2,40	6,31	54,50	92,60	41,70	42,50	96,30	
Басты сынама	100,0	0,85	0,61	0,62	5,43	6,30	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	
Na2S – 1500 г/т; pH – 10,86												
Концентрат	9,00	3,50	0,69	2,31	23,30	6,14	37,40	10,20	34,70	39,00	8,80	28,40
Қалдық	91,00	0,58	0,60	0,43	3,60	6,30	62,60	89,80	65,30	61,00	91,20	
Басты сынама	100,0	0,84	0,61	0,60	5,37	6,29	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	
Na2S – 2000 г/т; pH – 11,50												
Концентрат	12,10	1,85	0,64	1,10	12,40	6,32	26,40	12,80	22,60	28,00	12,10	14,30
Қалдық	87,90	0,71	0,60	0,52	4,40	6,30	73,60	87,20	77,40	72,00	87,90	
Басты сынама	100,0	0,85	0,60	0,59	5,37	6,30	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	



2 - сурет. Натрий күкірттің мөлшері Қосқұдық кен орнының тотыққан кенінің бастапқы сынамасының Pb және Zn флотация көрсеткіштеріне әсері



3 - сурет. Натрий күкіртінің мөлшері Қосқұдық кен орнының тотыққан кенінің бастапқы сынамасының Au және Ag флотация көрсеткіштеріне әсері

3-суреттегі мәліметтерден натрий күкіртінің шығыны 200 г/т – ден 700 г/т-ға дейін артқан сайын қорғасынның байыту тиімділігі 10,8% - ға (34,3-тен 45,1% - ға дейін) артады, бұл ретте күміс пен алтынның байыту тиімділігі 60,2 және 59,6% -ға тең. Асыл металдар үшін натрий күкіртінің оңтайлы шығыны 500 г/т, күмістің байыту дәрежесі – 65,5 %, алтынның – 65,8%-ды көрсетті. Айта кету керек, сульфидизация мырыштың байыту көрсеткіштерін арттырмайды.

Қорытынды. Зерттеу Қосқұдық кен орнының тотыққан кенімен жүргізілді. Заттық құрамы бойынша орташа қорғасын мөлшері – 0,82 - 0,85%, мырыш – 0,6 – 0,65 %, күміс – 5,5 г/т және алтын – 0,6 г/т тең, мыс мөлшері - 0,02% және өнеркәсіптік қызығушылық тудырмайды.

Фазалық талдау нәтижесіне сәйкес, сынама тотыққан қосылыстарға жатады, себебі қорғасынның, тотыққан және силикат қосылыстарымен

есептегенде, салыстырмалы құрамы 82,9% тең, ал мырыш - 87,7%.

Қосқұдық кен орнының тотыққан кендерін байыту кезінде негізгі реагенттердің шығындары анықталды: бутил ксантогенаты – 200 г/т; көбік түзуші (Т-80) – 60 г/т; бутил аэрофлоты – 60 г/т. Негізгі, бақылау флотациясының уақыты – 10 минут және 6 минутты құрады.

Ашық сынақ тәжірибелерінің нәтижесінде натрий күкіртінің шығыны шамамен 700 г/т болған кезде қорғасынның тиімділігі артады, ал күміс пен алтын үшін шамамен 500 г/т тең. Айта кету керек, сульфидизация мырыштың байыту көрсеткіштерін арттырмайды.

Қаржыландыру. Жұмыс Қазақстан Республикасы Білім және Ғылым министрлігінің ғылым комитеті қаржыландыратын АР 23489765 гранттық жобасы бойынша орындалды.

References

1. Nayak A., Jena M.S., Mandre N.R., Beneficiation of Lead-Zinc Ores – A // Review. Mineral Processing

- and Extractive Metallurgy Review. -2021.-Vol.43(5). -P. 564 - 583. DOI 10.1080/08827508.2021.1903459
2. Gavin M.M., Simon M. J., Timothy T.W. The world's lead-zinc mineral resources: Scarcity, data, issues and opportunities // Ore Geology Reviews. -2017. -Vol. 80. -P. 1160-1190
DOI 10.1016/j.oregeorev.2016.08.010
3. Abkhoshk E., Jorjani E., Al-Harashsheh M.S., Rashchi F., Naazeri M., Review of the hydrometallurgical processing of non-sulfide zinc ores // Hydrometallurgy. -2014. - Vol.149. - P.153-167. DOI 10.1016/j.hydromet.2014.08.001
4. Liu W.G., Zhao L., Liu W.B., Zheng Y.X., Huang L.Y., Mao Y., Ding S.Y., Enhanced flotation of smithsonite from calcite based on the synergistic action of carboxylated chitosan and sodium carbonate // Adv. Powder Technol. -2023. -Vol. 34 (12):104261
DOI 10.1016/j.appt.2023.104261
5. Mehdilo A., Irannajad M., Zarei H., Flotation of zinc oxide ore using cationic and cationic-anionic mixed collectors // Physicochem. Probl. Miner. Process. -2013.-Vol. 49(1). -P. 145–156. DOI 10.5277/ppmp130114
6. Maghfouri S., Hosseinzadeh M.R., Rajabi A., Choulet F., A review of major non-sulfide zinc deposits in Iran // Geosci. Front. -2018. –Vol. 9(1). -P.249-272. DOI 10.1016/j.gsf.2017.04.003
7. Yi Y.H., Peixuan Li, Zhang G., Feng Q.C., Han G., Stepwise activation of hemimorphite surfaces with lead ions and its contribution to sulfidization flotation // Sep. Purif. Technol. - 2022. –Vol. 299: 121679
DOI 10.1016/j.seppur.2022.121679
8. Elizondo-Álvarez M.A., Uribe-Salas A., Nava-Alonso F., Flotation studies of galena (PbS), cerussite (PbCO₃) and anglesite (PbSO₄) with hydroxamic acids as collectors // Miner. Eng. -2020. - Vol. 155: 106456 DOI 10.1016/j.mineng.2020.106456
9. Xue J.W., Qu Y.B., Chen Y., Zhang C.H., Bu X.Z., Effective sulfide flotation of cerussite by using trithiocyanuric acid as a novel sulfurizing reagent // Miner. Eng. -2023.-Vol. 198: 108087 DOI 10.1016/j.mineng.2023.108087
10. Zhang S., Xian Y.J., Wen S.M., Liang G.Y., Enhancement of xanthate adsorption on lead-modified and sulfurized smithsonite surface in the presence of ammonia // Miner. Eng. -2022. -Vol. 189: 107872 DOI 10.1016/j.mineng.2022.107872
11. Li. Jialei; Pei Bin, Liu Zhicheng; Gao Xiang; Ning Shuai; Cai Zi, Liu Ruizeng, Applying the surface differences in the sulfophilic and oxyphilic affinities for reverse flotation separation of calcite from smithsonite // Surfaces and Interfaces. -2023. - Vol. 42: 103310 DOI 10.1016/j.surfin.2023.103310
12. Qian Wei, Liuyang Dong, Wenqing Qin, Fen Jiao, Zhongxu Qi, Cheng Feng, Dayong Sun, Long Wang, Shunyuan Xiao, Efficient flotation recovery of lead and zinc from refractory lead-zinc ores under low alkaline conditions // Geochemistry. -2021. -Vol. 81.(4): 125769 DOI 10.1016/j.chemer.2021.125769

Авторлар туралы мәліметтер

Мамбеталиева А.Р. - PhD докторы, "Металлургия және пайдалы қазбаларды байыту" кафедрасының аға оқытушысы Satbayev University, Алматы, Қазақстан, e-mail: a.mambetalieva@satbayev.university;

Мұхтарқызы А. - "Металлургия және пайдалы қазбаларды байыту" кафедрасының магистранты Satbayev University, Алматы, Қазақстан, e-mail: asel.muktarkyzy@mail.ru;

Шаутенов М.Р. - техникалық ғылымдар кандидаты, доцент, "Металлургия және пайдалы қазбаларды байыту" кафедрасының профессоры Satbayev University, Алматы, Қазақстан, e-mail: m.shautenov@satbayev.universit

Information about the authors

Mambetalieva A.R. - PhD, Senior Lecturer at the Department of Metallurgy and Mineral Processing at Satbayev University,

Almaty, Kazakhstan, e-mail: a.mambetaliyeva@satbayev.university;

Mukhtarkyzy A. - Master at the Department of Metallurgy and Mineral Processing at Satbayev University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: asel.mukhtarkyzy@mail.ru;

Shautenov M., Candidate of technical sciences, Professor at the Department of Metallurgy and Mineral Processing at Satbayev University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: m.shautenov@satbayev.university,