



ИНЖЕНЕРИЯ ЖӘНЕ ИНЖЕНЕРЛІК ІС
ИНЖЕНЕРИЯ И ИНЖЕНЕРНОЕ ДЕЛО
ENGINEERING AND ENGINEERING

ПАЙДАЛЫ ҚАЗБАЛАРДЫ БАЙЫТУ
ОБОГАЩЕНИЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ
MINERAL PROCESSING

DOI 10.51885/1561-4212_2025_2_39
MFTAA 622.75/.77

Р.А. Рамазанова¹, Н. Шәймардан¹, Б.С. Саурбаева¹,
Б.С. Тантыбаева², С.В. Мамяченков³

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

E-mail: raigul_77_33@mail.ru

E-mail: Nurjan2010@mail.ru*

E-mail: saurbaeva71@mail.ru

²С. Аманжолов атындағы Шығыс Қазақстан университеті, Өскемен қ., Қазақстан

E-mail: bati_54@mail.ru

³Ресейдің тұңғыш президенті Б.Н. Ельцин атындағы Урал федералдық университеті,
Екатеринбург қ., Ресей

E-mail: svmtamyachenkov@yandex.ru

ЖӘЙРЕМ КЕН ОРНЫНЫҢ ТОТЫҚҚАН ҚОРҒАСЫН-МЫРЫШ КЕНІНІҢ ЗАТТЫҚ ҚҰРАМЫ МЕН БАЙЫТЫЛУЫН ЗЕРТТЕУ

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА И ОБОГАТИМОСТИ ОКИСЛЕННОЙ СВИНЦОВО-ЦИНКОВОЙ РУДЫ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЖАЙРЕМ

STUDY OF THE MATERIAL COMPOSITION AND ENRICHMENT OF OXIDIZED LEAD-ZINC ORE OF THE ZHAIREM DEPOSIT

Аңдатпа. Бұл мақалада Жәйрем кен орнының тотыққан қорғасын-мырыш кенінің заттық құрамы мен байытылуын зерттеу нәтижелері келтірілген. Бұл зерттеу Жәйрем кен орнындағы тотыққан қорғасын-мырыш кенінің қасиеттерін тереңірек түсінуге және оны ұтымды пайдалану бойынша ұсыныстар әзірлеуге бағытталған. Өнеркәсіптің әртүрлі салаларында қорғасын мен мырыш тұтынудың тұрақты өсуіне байланысты соңғы уақытта қорғасын-мырыш кенін өндіру мен өңдеуге сұраныстың айтарлықтай артуы байқалады. Қорғасынның 80 %-ға жуығы қорғасын-қышқылды аккумуляторлар өндірісінде, ал мырыштың шамамен 50 %-ы болатты гальванизацияда және 30 %-дан астамы мырыш қорытпаларын, соның ішінде жез бен қоланы өндіруде қолданылады. Қазақстан Республикасындағы барланған, бірақ әлі игерілмеген кен орындары осы кенді өндіру мен өңдеуді ұлғайту үшін әлеует тудырады. Кенді ұтымды пайдалану мүмкіндіктерін зерттеу шеңберінде келесі нәтижелер алынды. Зерттелетін кенді ауыр сұйықтықта байыту барысында ортаның тығыздығы 2,40-2,45 г/см³ болған кезде 90,84 % шығымы бар, құрамында 1,56 % қорғасын және 6,12 % мырышы бар ауыр фракция түзілетіні, аталған металдарды бөліп алу сәйкесінше 99,4 % және 99,7 % екені анықталды. Осы жағдайларда бөлінетін жеңіл фракция бастапқы материалдың массасының 21,92 % құрайды және құрамында 0,16 % қорғасын мен 0,22 % мырыш бар, 2,65 % және 0,97 % қалпына келтіріледі. Тығыздығы 2,20–2,25 г/см³ ауыр суспензияда байыту кезінде мынадай өнімдер алынды: құрамында 1,93 % қорғасын және 7,40 % мырыш бар 71,80 % шығымды бар ауыр фракция (96,4 % және 98,7 % бөліп алу), сондай-ақ құрамында 0,18 % қорғасын және 0,24 % мырышы бар 28,16 % шығымды жеңіл фракция (сәйкесінше бөліп алу 3,55 % және 1,28 %).

Зерттеу нәтижелері зерттелетін кеннен мырыш пен қорғасынды селективті алу үшін ауыр ортада байыту әдісін қолданудың жоғары тиімділігін көрсетеді.

Түйін сөздер: заттық құрам, қорғасын-мырыш кені, ауыр сұйықтық, ауыр суспензия, бөліп алу.

Аннотация. В данной статье представлены результаты исследований вещественного состава и

обогащаемости окисленной свинцово-цинковой руды месторождения Жайрем. Данное исследование направлено на углубленное понимание свойств окисленной свинцово-цинковой руды месторождения Жайрем и разработку рекомендаций по ее рациональному использованию. В связи с устойчивым ростом потребления свинца и цинка в различных отраслях промышленности в последнее время наблюдается значительное увеличение спроса на добычу и переработку свинцово-цинковой руды. Около 80 % свинца используется на производстве свинцово-кислотных аккумуляторов, в то время как порядка 50 % цинка расходуется на стальные гальванические покрытия, а свыше 30 % – на производство цинковых сплавов, в том числе латуни и бронзы. Разведанные, но еще не освоенные месторождения в Республике Казахстан создают потенциал для наращивания добычи и переработки данной руды. В рамках изучения возможностей рационального использования руды были получены следующие результаты. В ходе проведения обогащения исследуемой руды в тяжелой жидкости установлено, что при плотности среды 2,40-2,45 г/см³ формируется тяжелая фракция с выходом 90,84 %, содержащая 1,56 % свинца и 6,12 % цинка, при извлечении указанных металлов 99,4 % и 99,7 % соответственно. Легкая фракция, выделяющаяся при этих условиях, составляет 21,92 % от массы исходного материала и характеризуется содержанием свинца 0,16 % и цинка 0,22 %, с извлечением 2,65 % и 0,97 %. При обогащении в тяжелой суспензии с плотностью 2,20-2,25 г/см³ получены следующие продукты: тяжелая фракция с выходом 71,80 %, содержащая 1,93 % свинца и 7,40 % цинка (извлечение 96,4 % и 98,7 %), а также легкая фракция с выходом 28,16 %, содержащая 0,18 % свинца и 0,24 % цинка (извлечение 3,55 % и 1,28 % соответственно).

Результаты исследований свидетельствуют о высокой эффективности применения метода обогащения в тяжелых средах для селективного извлечения цинка и свинца из исследуемой руды.

Ключевые слова: вещественный состав, свинцово-цинковая руда, тяжелая жидкость, тяжелая суспензия, извлечение.

Annotation. This article presents the results of studies of the material composition and enrichment of oxidized lead-zinc ore from the Zhairem deposit. This study is aimed at gaining a deeper understanding of the properties of oxidized lead-zinc ore from the Zhairem deposit and developing recommendations for its rational use. Due to the steady growth in lead and zinc consumption in various industries, there has recently been a significant increase in demand for lead-zinc ore mining and processing. About 80% of lead is used in the production of lead-acid batteries, while about 50% of zinc is used in steel electroplating and over 30% is used in the production of zinc alloys, including brass and bronze. Explored but not yet developed deposits in the Republic of Kazakhstan create potential for increasing the extraction and processing of this ore. The following results were obtained in the study of the possibilities of rational use of ore. During the enrichment of the studied ore in a heavy liquid, it was established that at a medium density of 2.40–2.45 g/cm³, a heavy fraction is formed with a yield of 90.84%, containing 1.56% lead and 6.12% zinc, with the extraction of these metals being 99.4% and 99.7%, respectively. The light fraction released under these conditions constitutes 21.92% of the mass of the original material and is characterized by a lead content of 0.16% and zinc of 0.22%, with an extraction of 2.65% and 0.97%. When enriched in a heavy suspension with a density of 2.20–2.25 g/cm³, the following products were obtained: a heavy fraction with a yield of 71.80%, containing 1.93% lead and 7.40% zinc (extraction of 96.4% and 98.7%), as well as a light fraction with a yield of 28.16%, containing 0.18% lead and 0.24% zinc (extraction of 3.55% and 1.28%, respectively).

The results of the research indicate the high efficiency of the use of the enrichment method in heavy media for the selective extraction of zinc and lead from the ore under study.

Keywords: material composition, lead-zinc ore, heavy liquid, heavy suspension, extraction.

Қысқашы. Қазақстанның Ұлытау облысында орналасқан Жайрем кен орны аймақтағы қорғасын-мырыш кендерінің маңызды көздерінің бірі болып табылады. Түрлі салаларда кеңінен қолданылатын түсті металдарға, әсіресе қорғасын мен мырышқа деген сұраныстың артуын ескере отырып, осы кен орнының тотыққан кенінің заттық құрамы мен байытылуын зерттеу өзекті міндет болып табылады.

Тотыққан кендер, әдетте, пайдалы компоненттердің едәуір мөлшерін қамтиды, бірақ олардың физикалық және химиялық қасиеттері түзілу және кен орнының шарттарына байланысты айтарлықтай өзгеруі мүмкін. Сондықтан минералогиялық құрамын егжей-тегжейлі зерттеу, сонымен қатар кеннің байытылуын бағалау металдарды өңдеу мен бөліп алудың тиімді технологияларын жасаудың негізгі кезеңдері болып табылады.

Бұл зерттеу тотыққан қорғасын-мырыш кенінің химиялық құрамын талдауды және оны заманауи әдістермен байытуды бағалауды қамтиды. Бұл кеннің құрамындағы негізгі пайдалы қазбаларды анықтап қана қоймай, оны өңдеудің оңтайлы шарттарын анықтауға мүмкіндік береді.

Осылайша, бұл зерттеу Жайрем кен орнындағы тотыққан қорғасын-мырыш кенінің заттық қасиеттерін тереңірек білуге және оны ұтымды пайдалану бойынша ұсыныстар әзірлеуге

бағытталған, бұл өз кезегінде өңірдегі тау-кен өнеркәсібінің тұрақты дамуына ықпал етеді.

Зерттеу нәтижелерін технологиялық байыту процестерін оңтайландыру және пайдалы қазбаларды өндіру тиімділігін арттыру үшін пайдалануға болады.

Әдеби шолу. Қорғасын-мырыш кенін өндіру мен өңдеуге деген қажеттілік соңғы жылдары өнеркәсіптің әртүрлі салаларында қорғасын мен мырыштың үнемі өсуіне байланысты айтарлықтай ұлғайып келеді. Қорғасын қышқылды аккумуляторлардың өзі қорғасынды тұтынудың шамамен 80 % құрайды, ал болат гальванизация мырыш тұтынудың шамамен 50 % құрайды, 30 %-дан астамы мырыш қорытпаларының өндірісіне, соның ішінде жез және қола жасау үшін пайдаланылады. Барланған, бірақ игерілмеген кен орындарының едәуір санының болуы Қазақстан Республикасына қорғасын-мырыш кендерін өндіру мен өңдеуді дамытуға мүмкіндік береді.

Қазіргі уақытта полиметалл рудалары қорғасын мен мырыш өндірудің негізгі шикізаты болып табылады. Өндіріс технологиясы бастапқы кендік шикізатты флотациялық байытуды, содан кейін алынған концентраттарды пирометаллургиялық немесе гидрометаллургиялық өңдеуді қамтиды. Өкінішке орай, жақсы байытылған сульфидті кендердің қоры азайып келеді, бұл өндіріске аралас және тотыққан кендерді тарту қажеттілігіне әкеліп соғады.

Соңғы жылдардағы ғылыми әдебиеттерді талдау қиын байытылатын аралас және тотыққан кендерді байыту мәселелеріне зерттеушілердің айтарлықтай көңіл бөлгенін көрсетеді және бұл келесі авторлардың еңбектерімен расталады.

Бұл мақалада мырыш қорының жалпы көлемі Қазақстан Республикасындағы барлық қорлардың 30 %-дан астамын құрайтын және дүние жүзінде бесінші орын алатын Шалқия кен орнындағы қорғасын-мырыш кендерінің материалдық құрамын зерттеу нәтижелері берілген. Дәлелденген және болжамды қоры JORC классификациясы бойынша мырыштың 6,5 миллион тоннасын құрайды.

Авторлардың алынған нәтижелері бойынша бос бөлшектердегі галениттің үлесі 47,42 %, сфалерит – 39,52 % құрайды. Галенит пен сфалерит бөлшектерінің өлшемдері сәйкесінше 5 және 10 мкм-ден аз, бұл гравитациялық әдіспен бөлінудің перспективтілігін көрсетеді, бұл спиральды сепараторда байыту кезінде расталды. Материалдың құрамын талдау осы Шалқия кен орнының кендері байытылуы қиын кендер санатына жататынын көрсетті (Yushina et al., 2022).

Тотыққан шикізатты кешенді өңдеу дәрежесін арттыру үшін шикізатқа деген көзқарасты өзгерту және жаңа принциптерге негізделген өнеркәсіптік технологияларды құру қажет екендігін аңғаруға болады. Бұл мақалада шикізатқа жаңа көзқарас пен шикізатты кешенді өңдеу деңгейін айтарлықтай арттыруға мүмкіндік беретін жаңа тиімді технологияларға негізделген тотыққан мыс-мырыш оксиді кендерін кешенді өңдеу бойынша теориялық және қолданбалы зерттеулердің нәтижелері берілген. Әмбебап технологиялық шикізат идеологиясына негізделген оксидті, мырыш пен тотыққан мыс кендерін кешенді өңдеудің жаңа әдістерінің теориялық заңдылықтары, ерекшеліктері мен оңтайлы технологиялық параметрлері және бір пеш қондырғысында бірнеше өнімді бір мезгілде өндіру анықталған (Shevko et al., 2021).

Келесі жұмыстың авторлары тотыққан қорғасын-мырыш кенін өңдеу технологиясы мен әдісін, оның ішінде тотыққан қорғасын және мырыш қосылыстарының жоғары температурада сульфидтендіргіш күйдіруін, пирит түріндегі күкіртті жоғары күкіртті заттың қатысуымен жүргізілген металл оксидінің пиритке молярлық қатынасы кезінде 0,1-0,14 сульфидтеу үшін 750-800 °C температурада және ұзақтығы 30-45 минутта 10-20 л/мин ағынмен ауа үрлейтін сұйық қабатты пеште күйдіру нәтижелерін ұсынды (күкірттің мөлшері 45,15 %). Күкіртті күйдіру нәтижесінде сульфидтену дәрежесі 88 %-ға жетті, ал кейіннен ашық флотация циклінде мырышты магнитті емес фракциядан көбік өніміне алу 23,4 %

мырыш мөлшерімен 90 % құрады (Chepushtanova et al., 2023).

Келесі жұмыс қиын байытылған тотыққан қорғасын кендерін флотацияға дайындаудың жаңа тәсілін ұсынған. Ұсынылған әдіс сол кен орнының ұсақ түйіршікті қорғасын-мырыш сульфидті кені бар Озерное (Батыс Забайкалье, Ресей) полиметалл кен орнының тотыққан қорғасын кендерін бірлесіп күйдіруге және кальций оксидін қосуға негізделген. Бұл әдіс минералды кешендерді белсендіруге, тотыққан қорғасын-мырыш минералдарын сульфидтенуге және бөлінген газ тәрізді күкірт диоксидінің мөлшерін азайтуға мүмкіндік береді. 650-700 °C температурада тотыққан қорғасын-мырыш рудасын сульфидті кенмен (мас. 10-30 %) біріктіріп күйдіру пириттің таңдамалы тотығуына және тотыққан қорғасын мен мырыш минералдарының сульфидтенуіне әкелетіні көрсетілді (Antropova et al., 2024). Полиметалл кендерін өңдеудің ұсынылып отырған әдісі тек тотыққан қорғасын-мырыш кендерін ғана емес, сонымен қатар отқа төзімді сульфидті кендерді бір мезгілде өңдеуге мүмкіндік береді, сол арқылы тау-кен кәсіпорнының қызмет ету мерзімін ұзартады және қоршаған ортаға әсерін азайтады.

Келесі зерттеуде авторлар флотация әдісімен әртүрлі сынақ жағдайында әртүрлі химиялық реагенттерді пайдалана отырып қорғасын-мырыш оксиді-карбонатты кендерді алу технологиясын ұсынған. Өндірістен алынған оксид-карбонатты қорғасын-мырыш кенінің құрамында 9,05 % қорғасын және 11,97 % мырыш бар, смитсонит пен церуссит басым. Бірінші эксперименттік жұмыс барысында 106 мкм-ден аз фракцияларды 15 минуттан екі кезеңде азайту үшін ұсақтау сынақтары жүргізілген. Алдын ала флотация сынақтары Pb үшін ұқсас нәтижелер берді, бірақ pH, ZnSO₄, CuSO₄ немесе AERO 3477, 3501 және 8651 сияқты коллекторлар Zn экстракциясына оң әсер еткен жоқ. Сондықтан зерттеудің негізгі бағыты КМЦ, Na₂S, AERO промоторы сияқты қолданылатын химиялық заттардың мөлшерін өзгерту арқылы Pb концентратын алу болған. 350 г/т KAX, 275 г/т AERO 407, 7500 г/т Na₂S, 1000 г/т КМЦ қолданатын флотацияның алты кезеңінен кейін 71,56 % қалпына келтірумен 70,93 % Pb концентрациясына қол жеткізілген. Мырыштың 91,51 %-ы 14,66 % Zn болатын қалдықтарда қалған (Mütevellioglu et al., 2019).

Қиын байытылған мырыш кендерін өңдеу мәселесін шешу үшін біз тотыққан мырыш кендерін ерітінділеудің принципті жаңа тәсілін ұсынғанымызды атап өткен жөн, ол мырыштың жоғары мөлшерін кенді сульфат ерітіндісіне тиімді бөліп алуға мүмкіндік береді (Ramazanova et al., 2023). Сондай ақ біз тотыққан мырыш минералдары үшін термодинамикалық есептеулер жасадық және олардың реактивті белсенділігіне салыстырмалы талдау жүргіздік (Ramazanova et al., 2021), каламиннен мырышты бөліп алудың кинетикасының процестерін күкірт қышқылымен ерітінділеу әдісімен зерттеу жүргіздік (Ramazanova et al., 2021), күкірт қышқылын қолдана отырып, смитсониттен мырышты ерітінділеудің кинетикалық заңдылықтарын зерттедік (Ramazanova et al., 2021).

Бұл жұмыста Жәйрем кен орнының тотыққан қорғасын-мырыш кенінің заттық құрамы мен байыту ерекшеліктері қарастырылған. Ауыр сұйық және ауыр суспензияны қолдану арқылы кен байыту бойынша тәжірибелер жүргізілді. Алынған нәтижелер осы кеннен мырыш пен қорғасынды бөліп алу үшін ауыр орталарда байыту әдістерін қолданудың жоғары тиімділігін растайды.

Материалдар мен зерттеу әдістері. Бұл жұмыста зерттеу объектісі салмағы 300 кг Жәйрем кен орнының (Ұлытау облысы, Қазақстан) тотыққан қорғасын-мырыш өзек кенінің өкілді партиясы болды. Кендегі пайдалы компоненттердің мөлшері Zn 6,7 %, Pb 2,1 %, Ag 38,2 г/тн, BaSO₄ 17 % құрады.

Материалдың құрамын зерттеу үшін араластыру және сынама алу, гранулометриялық талдау жүргізу, физикалық-химиялық қасиеттерін анықтау, сондай-ақ гравитациялық және флотациялық әдістерді қолдану арқылы байытуды зерттеуді қамтитын кеннің технологиялық үлгісі зерттеуге дайындалды (Руды и концентраты 2010, Свинцовые и цинковые руды

2007).

Қорғасын, мырыш, мыс, темір, кремний диоксиді, жалпы күкірт және көміртектің тығыздық фракциялары бойынша таралу заңдылықтары (тығыздық диапазоны $>2,80 \text{ г/см}^3$ -ден $<2,20 \text{ г/см}^3$ -ге дейін) және гранулометриялық кластары ($-25+5 \text{ мм}$, $-10+5 \text{ мм}$, $-2+12 \text{ мм}$, $-2+12 \text{ мм}$) анықталды.

1-кестеде Жәйрем кен орнының тотыққан қорғасын-мырыш кенінің үлгісінің химиялық талдауы көрсетілген.

1-кесте. Жәйрем кен орнының тотыққан қорғасын-мырыш кенінің сынамасының химиялық құрамы

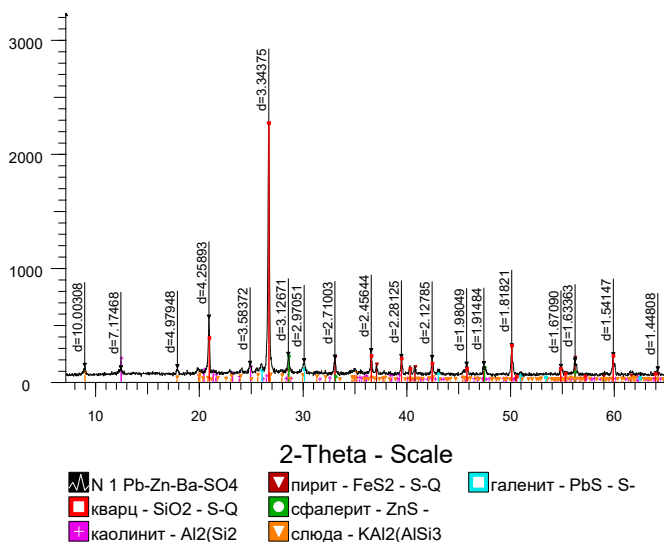
Өнімнің атауы	Мөлшері, %						Мөлшері, г/т	
	Pb	Zn	Cu	Fe	S _{жалп.}	C _{жалп.}	Au	Ag
Бастапқы кен	1,46	5,65	0,06	8,07	10,72	1,12	0,05	30,2

Ескерту – автормен құрастырылған

Рационалды талдау нәтижелері бойынша бастапқы кен үлгісіндегі металдардың тотыққан және қиын байытылатын түрлерінің мөлшері: мырыш – 12,50 %, қорғасын – 14,35 %, мыс – 54,90 % екені анықталды. Сондай-ақ зерттелетін кеннің физикалық сипаттамалары, оның ішінде шынайы және көлемдік тығыздығы, кеуектілігі, ылғалдылығы, Протодяконов шкаласы бойынша беріктік коэффициенті анықталды.

Жүргізілген зерттеулер нәтижесінде Жәйрем кен орны кенінің келесі физикалық сипаттамалары анықталды: шынайы тығыздығы $2,93 \text{ г/см}^3$; $-25+0 \text{ мм}$ сыныбына дейін ұсақталған үлгінің көлемдік тығыздығы $1,38 \text{ г/см}^3$, ал $-2+0 \text{ мм}$ сыныбына дейін ұсақталған үлгі үшін $1,58 \text{ г/см}^3$. Кеннің кеуектілігі 52,9%, ылғалдылығы 3,1 %. М.М. сәйкес беріктік коэффициенті. масштаб. Протодяконов XV–XVI санаттарға сәйкес келеді.

Зерттелетін кеннің рентгендік фазалық талдауы «ҚР КІМС ҰК» РМК ВНИИТцветмет филиалында D8 ADVANCE дифрактометрінің (Германия) көмегімен жүргізілді. Бұл талдаудың нәтижелері 1-суретте берілген. Дифракциялық үлгілерді интерпретациялау ICDD файлындағы деректерді пайдалану арқылы жүзеге асырылды: ұнтақ дифракциялық деректер базасы PDF2 (Powder Diffraction File) және қоспасыз минералдардың дифракциялық үлгілері.

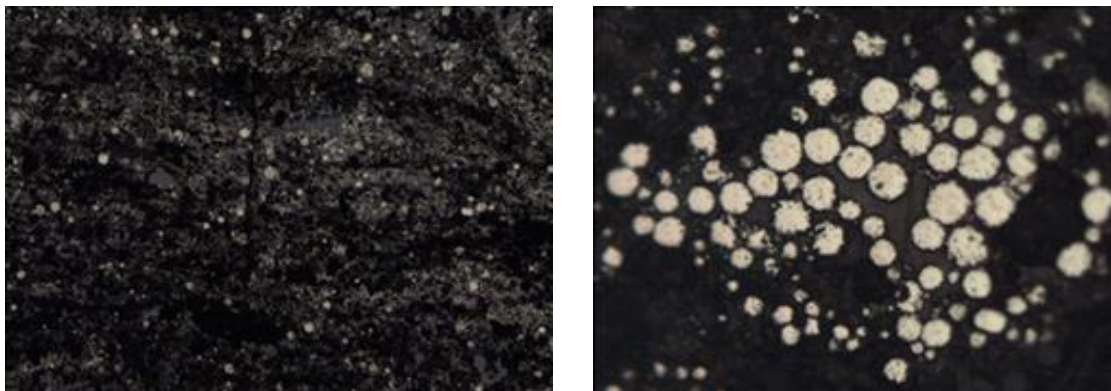


1-сурет. Қорғасын-мырыш-барит кені үлгісінің дифракциялық үлгісі

Ескерту – автормен құрастырылған

Бастапқы кеннің иммерсиялық талдауы «ҚР КПМС ҰК» РМК ВНИИТцветмет филиалында жүргізілді. Мырыш минералдары мен басқа да кен минералдарын анықтау OLYMPUS BX 51 Pol микроскопы, SIMAGIS 2P-2C бейнекамера және SIAMS (Жапония) компаниясының Mineral C7 кескінді талдау бағдарламалық құралы арқылы жылтыратылған кен учаскелерінде шағылысқан жарықта жүргізілді.

Бастапқы кеннің иммерсиялық талдауының нәтижелері 2-суретте келтірілген.



2-сурет. Кен сынамасының аншлифтері

Ескерту – автормен құрастырылған

Негізгі жыныстар қара әкті-көміртекті, сұр және ашық сұр массивті кремнийлі-әкті алевролиттердің қабаттарының біркелкі емес немесе ырғақты кезектесуімен сипатталады. Қабаттардың қалыңдығы 0,5 мм-ден 5 см-ге дейін өзгереді. Кендердің текстурасы негізінен жұқа қабатты, біркелкі емес немесе ырғақты қабаттанған, бұл литологиялық және минералогиялық құрамы әртүрлі қабаттардың кезектесіп тұруымен байланысты.

Бастапқы кеннің иммерсиялық талдауының нәтижелері бойынша негізгі кендік минералдар пирит, сфалерит және галенит, ал бейметалл минералдар – кальцит, кварц, гидрослюда минералдары, көміртекті заттар.

Тотыққан қорғасын-мырыш кенін байытуды зерттеу. -25+5 мм және -10+5 мм сияқты ірі кен сорттарының гравитациялық концентрациясы ауыр суспензия мен ауыр сұйықтықты қолдану арқылы бағаланды. Аталған кластардың кен сынамаларын стратификациялау процесі тығыздығы диапазоны: 2,20 г/см³, 2,25 г/см³, 2,30 г/см³, 2,35 г/см³, 2,40 г/см³, 2,45 г/см³, 2,50 г/см³ кем жеңіл және ауыр фракцияларды қоса алғанда, суспензияның әртүрлі тығыздығы бар фракцияларда жүзеге асырылды, 2,55 г/см³, 2,60 г/см³ және 2,65 г/см³. Бөлу тығыздығының мәндері арасындағы аралық 0,05 г/см³ болды.

Ауыр суспензияны қолдана отырып, кен сынамасын байытуға бағытталған зертханалық зерттеулер мехведро деп аталатын суспензияны механикалық араластыру құрылғысымен жабдықталған аппаратта жүргізілді. Бұл құрылғының жұмыс көлемі 5 дм³ құрайды.

Мехведрадағы кен сынамасын байыту процесі келесідей жүргізілді: берілген тығыздығы бар суспензия аппаратқа құйылады, содан кейін 500 г мөлшерінде кен тиеледі, тиелетін кеннің көлемі суспензия көлеміне және өңделетін кеннің көлеміне байланысты анықталады. Бұл әдістеме гравитациялық байыту технологиясының маңызды аспектісі болып табылатын тығыз фракциялар бойынша минералдардың бөліну процестерін тиімді зерттеуге мүмкіндік береді.

Суспензия қарқынды араластыруға ұшырайды, содан кейін араластыру тоқтайды және 5-10 секундтан кейін қалқымалы фракция торлы түбімен жабдықталған шөмішпен

шығарылады. Алынған фракция кеннен ағып жатқан суспензияны жинау үшін шелектің үстінде орналасқан торға ауыстырылады. Осыдан кейін суспензияны араластыру қайта басталады. Жеңіл фракцияны іріктеу кезінде шөміш суспензияға ең үлкен кен бөлігінің мөлшеріне тең тереңдікке батырылады.

Тығыздығы мен ірілігі бойынша бөлініп алынған фракциялар ауыр суспензия мен ауыр сұйықтықтың қалдықтарынан жуылғаннан кейін кептіріледі, ұсақталады және ұнтақталады. Бұл процедуралар химиялық талдаулар жүргізу үшін қолданылатын сынамаларды дайындау үшін қажет. Бұл әдістеме таза және біртекті үлгілерді алуды қамтамасыз етеді, бұл кейінгі аналитикалық зерттеулер үшін өте маңызды.

Ұсынылған бөлу әдісі өте сенімді және алынған технологиялық көрсеткіштер практикалық жағдайда алынған нәтижелерге жоғары сәйкестік дәрежесін көрсетеді.

Оңтайлы жағдайларда руда сынамасының гравитациялық байытылуын бағалау $BaI_2 + CdI_2$ ($BaCdI_4$) тұратын, меншікті салмағы $2,95-3,0 \text{ г/см}^3$ диапазонындағы ауыр металл тұздарының концентрацияланған сулы ерітіндісі болып табылатын М-45 ауыр сұйықтықты пайдалана отырып жүргізілді. Бұл әдістеме кенді байыту әлеуетін тиімді бағалауға мүмкіндік береді, бұл гравитациялық байыту технологияларын әзірлеу процесінің маңызды кезеңі болып табылады.

Ауыр сұйықтықты пайдалана отырып, кен сынамасын байытуға бағытталған зертханалық зерттеулер көлемі 5 дм^3 шыны ыдыста жүргізілді. Контейнерге тығыздығы $3,0 \text{ г/см}^3$ болатын екі литр ауыр сұйықтық ерітіндісі құйылды. Осыдан кейін ауыр сұйықтық қатты араластырылды, содан кейін оған зерттелетін кен сынамасының ілмегі қосылды және араластыру процесі кем дегенде 10 секундқа созылды. Араластыру және кейіннен тұндыру аяқталғаннан кейін жүйеде минералдардың бөлінуі болды: жеңіл минералдар бетіне көтерілді, ал ауыр минералдар ыдыстың түбіне қоныстанды.

Минералды қоспаның бөлінуі нәтижесінде минералдардың жеңіл және ауыр фракциялары түзіледі. Қалқымалы жеңіл фракциялар торлы түбімен жабдықталған шөмішпен мұқият алынып тасталады және кеннен ағып жатқан сұйықтықты жинау үшін қосалқы шыны ыдыстың үстінде орналасқан елекке ауыстырылады.

Берілген тығыздығы бар ерітінді ($3,0 \text{ г/см}^3$ -ден аз) ауыр сұйықтыққа біртіндеп су қосу арқылы дайындалды. Бөлу тығыздығы арасындағы аралық $0,05 \text{ г/см}^3$ болды. Су қосудың әр кезеңінен кейін қоспасы қайта араластырылды, ауыр сұйықтықтың тығыздығы өлшенді және қажетті мәнге жеткенде байыту процесі бұрын айтылған әдістемеге сәйкес жалғасты.

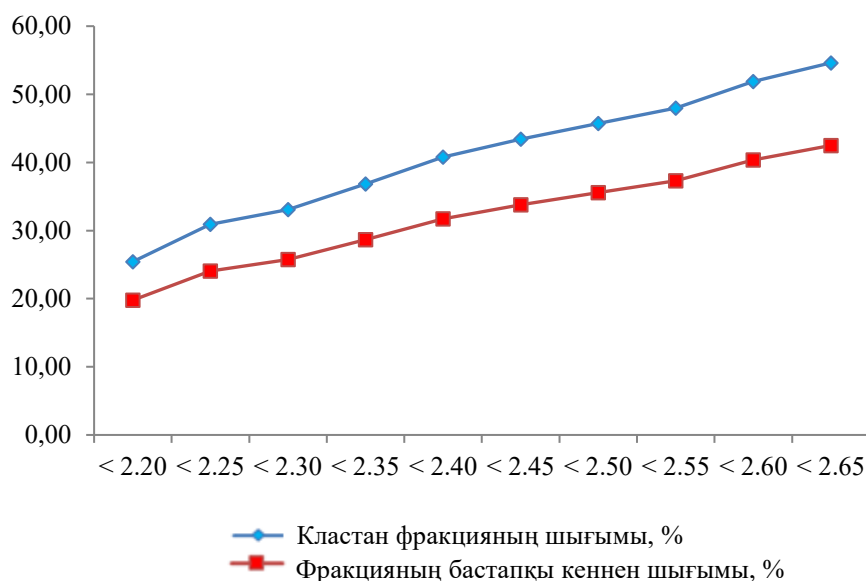
Фракцияларды ауыр сұйықтықтан бөлу сүзу әдісімен жүзеге асырылды, содан кейін олар жуылып, кептірілді. Сүзуден кейін қалған ауыр сұйықтық одан әрі бөлу операциялары үшін қайта пайдаланылды. Жуу сулары $3,0 \text{ г/см}^3$ тығыздыққа жеткенше буланған.

Нәтижелер және оларды талқылау. -25+5 мм ірі класы бар ауыр суспензиялардағы кен сынамасын гравитациялық байыту кезінде тығыздығы $2,20 \text{ г / см}^3$ -тен аз болған кезде бөлінетін ең жеңіл фракцияның шығымы байыту өнімінің массасының 25,43 % және кеннің бастапқы массасының 19,79 % құрады.

Ауыр суспензияның тығыздығы $2,20$ -дан $2,65 \text{ г/см}^3$ ($0,05 \text{ г/см}^3$ қадаммен) диапазонында ұлғайған кезде байыту өнімінің массасынан жеңіл фракцияның шығуының дәйекті өсуі байқалады: $2,20 \text{ г/см}^3$ тығыздықта 25,43 %-дан $2,65 \text{ г/см}^3$ тығыздықта 54,62 %-ға дейін. Мәндер: 25,43 %, 30,93 %, 33,10 %, 36,83 %, 40,79 %, 43,43 %, 45,73 %, 47,99 %, 51,86 % және сәйкесінше 54,62 %. Зерттелетін кен сынамасын байыту кезінде жеңіл фракцияның шығуының (байыту өніміне де, кеннің бастапқы массасына да) ауыр суспензияның тығыздығына тәуелділігі 3-суретте көрсетілген.

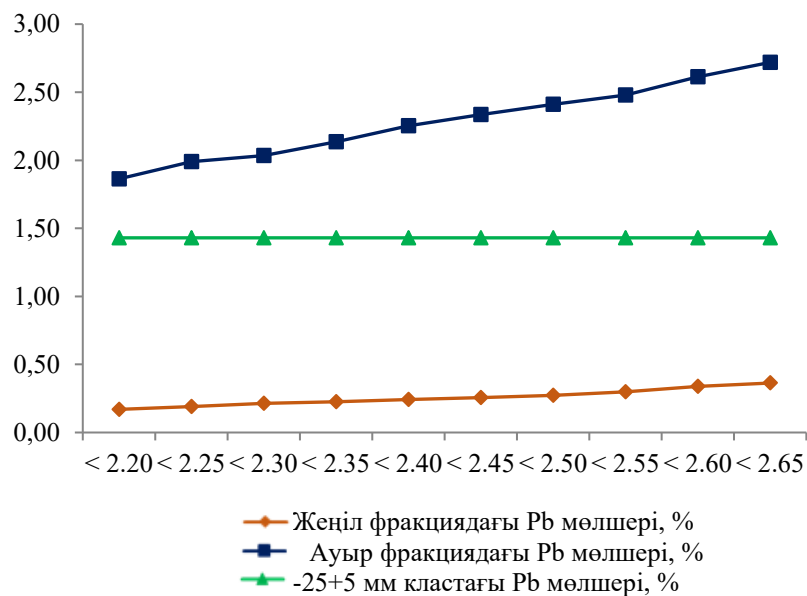
-25+5 мм өлшемді материалды байытқан кезде $2,20 \text{ г/см}^3$ ауыр суспензия тығыздығында мырыштың 0,20 % ең аз шығыны тіркелді. Бұл жағдайда жеңіл фракцияның шығымы байыту өнімінің массасының 25,43 % және бастапқы кен массасының 19,79 % құрады. Бұл

тығыздықта жеңіл фракциямен мырыштың салыстырмалы жоғалуы 0,95 % құрады.



3-сурет. Ауыр суспензияда тотыққан қорғасын-мырыш кені сынамасының сынамасын байыту кезіндегі жеңіл фракцияның шығу динамикасы – 25+5 мм
Ескерту – автормен құрастырылған

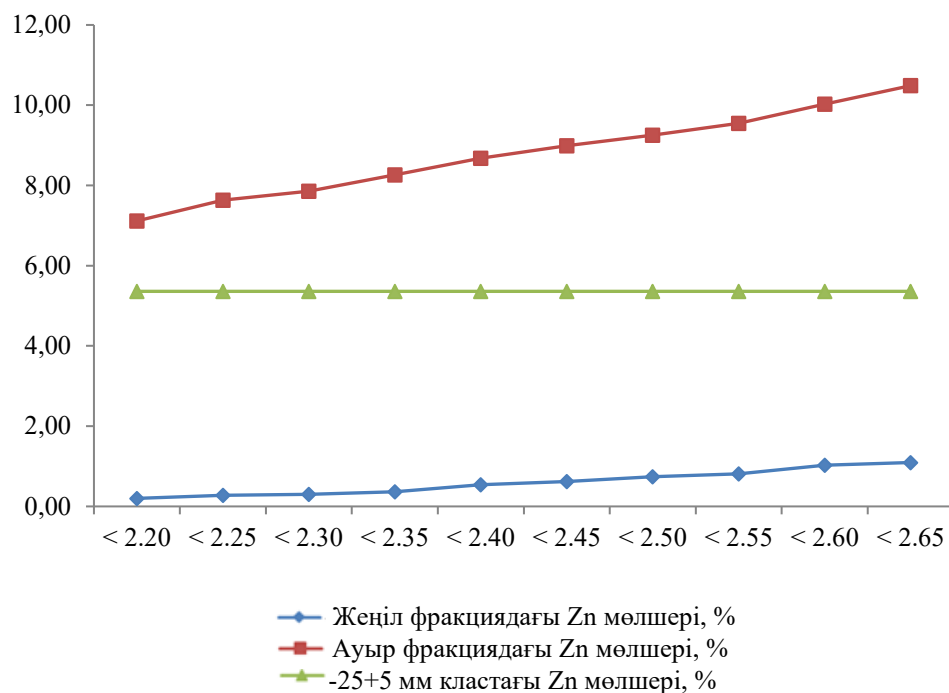
Ең жеңіл фракциядағы қорғасын мөлшері (4-сурет) тығыздығы 2,20 г/см³ болған кезде – 0,17 % құрады, ал жеңіл фракцияға қорғасын алу – 3,02 % құрады.



4-сурет. Тотыққан қорғасын-мырыш кенінің -25+5 мм сынамасында ауыр суспензиясының тығыздығына байланысты қорғасынның таралуы
Ескерту – автормен құрастырылған

Ауыр суспензияның тығыздығының жоғарылауымен жеңіл фракцияның шығымы және мырыш шығыны артады (5-сурет). Ауыр суспензияның ең жоғары тығыздығы кезінде –

2,65 г/см³, жеңіл фракциядағы мырыштың мөлшері 1,09 %, экстракция 11,16 % құрады.



5-сурет. Тотыққан қорғасын-мырыш кенінің 25+5 мм сынамасында ауыр суспензиясының тығыздығына байланысты мырыштың таралуы

Ескерту – автормен құрастырылған

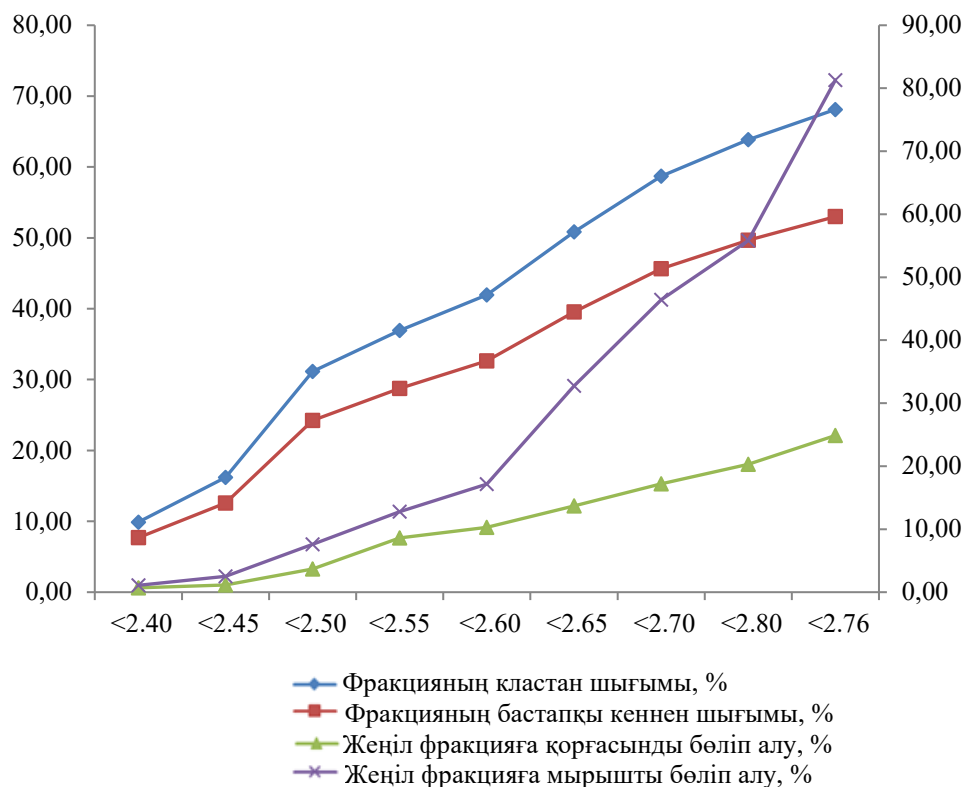
Тығыздығы 2,20 г/см³-ден аз болған кезде жеңіл фракция шығымы 25,43 % (кеннің 19,79 %) құрамында темірдің – жалпы күкірт пен көміртегінің мөлшері: сәйкесінше 1,75 % – 1,93 % және 0,84 % құрады. Бөлу ортасының тығыздығының жоғарылауымен жеңіл фракциядағы жоғарыда аталған металдардың шығымы мен мөлшері артады.

Бастапқы кен үлгісінде -25+5 мм класты шығымдылық 77,79 % құрады. Бастапқы кен үлгісіне қатысты кеннен жеңіл фракцияның келесі шығымы алынды: 19,79 - 24,06 - 25,75 - 28,65 - 31,73 - 33,79 - 35,58 - 37,33 - 40,35 - 42,49 %, суспензия, тиісінше аз, тығыздық: 2,20 - 2,25 - 2,30 - 2,35 - 2,40 - 2,45 - 2,50 - 2,55 - 2,60 және 2,65 г/см³ жоғары.

Ауыр сұйықтықтағы байыту нәтижелері. Гравитациялық байыту нәтижелерін талдау негізінде -25+5 мм ірі класс үшін қолайлы жағдайларда бөлу ортасының тығыздығы 2,40 г/см³-тен аз болған кезде ең жеңіл фракцияның шығымы байыту өнімінің массасының 9,89 % құрайтыны анықталды. Бұл фракциядағы металдардың құрамы: қорғасын – 0,07 %, мырыш – 0,11%. Ауыр сұйықтықтың тығыздығы 2,40-тан 2,65 г/см³-ке дейін ұлғайған кезде жеңіл фракция шығымының табиғи өсуі байқалады – 9,89 %-дан 50,84 %-ға дейін. Тиісінше, жеңіл фракциясы бар металдардың жоғалу деңгейі де артады: қорғасын – 0,07 %-дан 0,27 %-ға дейін, мырыш – 0,11 %-дан 0,64 %-ға дейін.

Айта кету керек, жеңіл фракцияның шығымы артқан сайын зерттелетін барлық компоненттердің – қорғасын, мырыш, жалпы темір, күкірт және көміртектің жоғарылау тенденциясы байқалады.

Ауыр сұйықтықтағы сынамаларды бөлу кезінде байыту нәтижелері ауыр суспензиядағы байыту нәтижелеріне қарағанда айтарлықтай ерекшеленеді (6-сурет).



6-сурет. Ауыр сұйықтықта тотыққан қорғасын-мырыш кенінің -25+5 мм класс бойынша сынамасын байыту нәтижелері

Ескерту – автормен құрастырылған

Тотыққан қорғасын-мырыш кені сынамасын гравитациялық байыту кезінде ауыр суспензияның ең аз пайдаланылған тығыздығы 2,40 г/см³ құрады. Бұл тығыздықта жеңіл фракцияның шығымы байыту өнімінің массасының 9,89 % құрады (бұл бастапқы кен массасының 16,18 %-на сәйкес келеді), оның құрамында қорғасын – 0,07 % (кеннен – 0,07 %) және мырыш – 0,11 % (кеннен – 0,16 %).

Бастапқы кеннің массасына қатысты жеңіл фракцияның салыстырмалы шығымы суспензия тығыздығының жоғарылауымен өсті: тығыздығы аз 2,40; 2,45; 2,50; 2,55; 2,60; 2,65; 2,70; 2,75 және ол сәйкесінше 2,80 г/см³-тен асады 7,69 %, 12,58 %, 24,23 %, 28,73 %, 32,62 %, 39,55 %, 45,67 %, 49,68 % және 52,99 %.

Ауыр фракцияның минералогиялық талдауының нәтижелері. Зерттелетін үлгідегі ұсақталған материал гранулометриялық құрамның жоғары біркелкі еместігімен сипатталады. Минералды құрамы мен өсінділерінің табиғаты бойынша ірі өлшемді фракция бастапқы рудамен де, ұсақ дисперсті фракциямен де салыстырылады.

Ауыр фракцияның құрамында сульфидті минералдануы нашар кедей жыныстардың сынықтарымен ұсынылған жеңіл фракцияның қосындылары табылды. Соңғысы сирек-жұқа және ұсақ кристалды пириттің, сондай-ақ кейбір жағдайларда сфалериттің шашыраңқы таралуымен сипатталады. Жеңіл фракцияның қосылу деректері байыту процесінде ауыр материалмен механикалық түрде ұсталуы мүмкін деп болжануда.

Тау жыныстарында пирит пен сфалериттің біркелкі емес қосындыларымен сипатталатын пирит пен колчеданды-мырыш өсінділері, ал сирек жағдайда галена. Кейбір жағдайларда металл емес минералдар мен бағынышты галена қосындылары бар қатты

пирит және сфалерит-пирит агрегаттары кездеседі.

Көбінесе галенаның және металл емес минералдардың ұсақ қосындыларымен байланысты әртүрлі өлшемдегі және құрылымдардағы пирит қосындылары бар сфалерит бөлшектері айтарлықтай мөлшерде байқалады.

Сондай-ақ, пирит қосындылары жиі кездесетін галена мен сфалериттің қиын бөлінетін субграфикалық өсінділерімен ұсынылған галена құрамының өзара өсінділері атап өтіледі. Кейбір жағдайларда сфалеритте металл емес компоненттердің қосындылары бар галенаның кішігірім ретсіз өсінділері болады.

Көптеген галенит-сфалерит аралық өсінділерде галенит сфалерит үстінде жұқа тоттандырғыш жиектер түрінде дамиды. Негізгі тау жыныстарының бөлшектері, сульфидтердің сирек және біркелкі емес дисперсті қосындылары бар металл емес компоненттер (кварц, барит) – пирит, сфалерит – атап өтіледі.

Жеңіл фракцияның минералогиялық анализінің нәтижелері. Сынамадағы материал негізінен өлшемдері кең ауқымда – 2 мкм-ден 2100 мкм-ге дейін өзгертін жеңіл фракциялық (бос жыныс) бөлшектерден тұрады.

-25+5 мм класындағы жеңіл фракцияның кейбір бөлшектерінде біркелкі шашыраңқы және қиылысқан сипатқа ие әлсіз сульфидті минералдану байқалады. Бұл бөлшектердегі негізгі минералдар-пирит, сирек-сфалерит, сонымен қатар галенит пен арсенопириттің жалғыз қосындылары бар.

Процестердің сипаттамасы: фрамбоидты пириттің біркелкі емес қабаттасуы бар негізгі жыныстардың бөлшектері басым. Бос жыныста сфалерит пен галенит процестерінің жұқа дақтары бар. Сондай-ақ, пириттің нәзік қосындылары бар сфалерит бөлшектері атап өтілді. Негізгі жыныстардың кремний-карбонатты бөлшектерінде пириттің қосындылары, сондай-ақ галенит пен сфалериттің субграфиялық қосылыстары кездеседі (Абрамов 2005 - Орлов 2004).

Ауыр байытудың зертханалық зерттеулерінің нәтижелері бойынша болжамды теңгерім жасалып, 2-кестеде келтірілген. Ұсынылған баланста жеңіл фракция тек -25+5 мм класынан ерекшеленеді.

2-кесте. Тотыққан қорғасын-мырыш кенінің сынамасын ауыр ортамен байытудың болжамды балансының нәтижелері

Өнімдер	Кеннен шығу, %	Мөлшері, %		Бөліп алу, %	
		Pb	Zn	Pb	Zn
тығыздығы 2,20 г/см ³					
Жеңіл фракция	19,79	0,17	0,20	2,34	0,74
Ауыр фракция	58,01	1,86	7,12	75,07	77,44
-5+1	7,97	1,32	5,28	7,33	7,89
-1+0	14,24	1,54	5,22	15,26	13,93
Бастапқы кен	100,00	1,44	5,33	100,0	100,0
тығыздығы 2,25 г/см ³					
Жеңіл фракция	24,07	0,19	0,28	3,18	1,26
Ауыр фракция	53,73	1,99	7,63	74,27	76,90
-5+1	7,97	1,32	5,28	7,32	7,89
-1+0	14,24	1,54	5,22	15,23	13,94
Бастапқы кен	100,00	1,44	5,33	100,0	100,0
Ескерту – автормен құрастырылған					

Болжалды баланстың нәтижелері бойынша мыналар:

– ауыр суспензияның тығыздығы 2,20 г/см³ болған кезде бастапқы кеннен қорғасын мен мырыш мөлшері 0,17 % және 0,20 % болатын бос жыныстың 19,79 % - от шығаруға болады,

бұл ретте салыстырмалы шығындар металдарға сәйкесінше 2,34 және 0,74 % құрайды;

– 2,25 г/см³ тығыздығы кезінде тау жыныстарының шығымы – 0,19 % қорғасын құрамымен 24,07 % және салыстырмалы шығын – 3,18 %; мырыш – 0,28 %, салыстырмалы шығын – 1,26 % құрайды.

Ауыр суспензияда байытудың ең қолайлы нұсқасы -25+5 мм класын байыту болып табылады.

-25+5 мм класты ауыр суспензиядағы кен сынамасын алдын ала байыту есебінен ауыр фракциядағы металдардың құрамын арттыруға болады: қорғасын мен мырыш 1,3 есе.

Ауыр фракцияның шығымдылығы болжамды теңгерім бойынша кеннің ұсақтарын есепке алғанда 61,7 - 65,98 %, ең ұсақ кластарды (шлам) есепке алғанда – 75,94 - 80,21 % құрайды.

Қорытынды.

1. Рационалды талдау нәтижелері бойынша бастапқы кен үлгісіндегі металдардың тотыққан және қиын байытылатын түрлерінің мөлшері: мырыш – 12,50 %, қорғасын – 14,35 %, мыс – 54,90 % екені анықталды.

2. Ауыр сұйықтықта «Жәйрем» кен орнының тотыққан қорғасын-мырыш кенінің сынамасын 2,40 – 2,45 г/см³ тығыздықтар аралығында байыту кезінде мынадай өнімдерді алуға болады: ауыр фракция – шығымы – 90,84 %, оның құрамында қорғасын – 1,54 – 1,58 %, мырыш – 6,05 – 6,20 %; қорғасын алу 99,48 - 99,30 %, мырыш – 99,75 - 99,67 %; жеңіл фракция: шығу - 21,92 %; қорғасын алу – 2,26 % -3,05 %, мырыш – 0,80 - 1,14 %; жеңіл фракциядағы қорғасын мөлшері – 0,15-0,17 %, мырыш – 0,20-0,24 %;

3. Ауыр суспензияда «Жәйрем» кен орнының тотыққан қорғасын-мырыш кенінің сынамасын байыту кезінде тығыздығы 2,20 - 2,25 г/см³ интервалында -25+5 мм ірілік класынан мынадай өнімдерді алуға болады: өнімділігі 69,07 - 74,54 %, құрамында қорғасын - 1,86 - 1,99 %, мырыш – 7,12 - 7,63 %; қорғасын алу 95,91-96,98 %, мырыш - 98,39-99,05 %; жеңіл фракция: операциядан шығу – 25,43 - 30,93 % (кеннен 19,79-24,06); қорғасын алу - 3,02 - 4,09 %, мырыш – 0,95 - 1,61 %; жеңіл фракциядағы құрам қорғасын – 0,17 - 0,19 %, мырыш - 0,20 - 0,28 %.

Мүдделер қақтығысы. Авторлар мүдделер қақтығысының жоқтығын мәлімдейді.

Алғыс. Бұл зерттеуді Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті қаржыландырады (грант № AP25797107 – Түсті металдардың тотыққан кендерін өңдеудің тиімді кешенді технологиясын әзірлеу).

Ғылыми мақаланы жазу процесінде генеративті ЖИ және оның көмегімен технологияны қолдану туралы хабарлама. Бұл жұмысты дайындау кезінде авторлар генеративті ЖИ қолданбады.

Әдебиеттер тізімі

- Yushina T.I., Yergeshev A.R., Dumov A.M., Makavetskas A.R. (2022). Study of the material composition of lead-zinc ore of the Shalkiya deposit in order to determine the possibility of its processing. Non-ferrous Metals, vol. 2, 8–14, <https://doi.org/10.17580/nfm.2022.02.02>.
- Shevko V.M., Zharmenov A.A., Aitkulov D.K., Terlikbaeva A.Zh. (2021). Complex processing of oxidized copper and zinc oxide ores with simultaneous production of several products. Physicochem. Probl. Miner. Process, 57(1), 226-249, <https://doi.org/10.37190/ppmp/131091>.
- Chepushtanova T.A., Merikbayev Y.S., Baigenzhenov O.S., Mishra B. (2023). Technology of high-temperature sulfidizing roasting of oxidized lead-zinc ore in a fluidized bed furnace. Non-ferrous Metals vol. 1, 3–10, <https://doi.org/10.17580/nfm.2023.01.01>.
- Antropova I.G., Gulyashinov P.A., Budaeva A.D., Dashiev I.P., Khomoksonova D.P. (2024). Processing of Oxidized Lead-Zinc Ore by Co-Roasting with Pyrite-Bearing Ore. Minerals, vol. 14, 1241, <https://doi.org/10.3390/min14121241>.
- Mütevellioğlu N.A., Yekeler M. (2019). Beneficiation of Oxidized Lead-Zinc Ores by Flotation Using Different Chemicals and Test Conditions. Mineral Dressing, vol. 55, 327–332,

- <https://doi.org/10.1134/S1062739119025623>.
- Ramazanov R., Seraya N., Daumova G., Mamayeva A., Saurbayeva B., Idrisheva Zh. (2023). Assessing the Feasibility of Utilizing a Method for Processing Oxidized Zinc Ores. ES Materials and Manufacturing, vol. 22, 993, <https://dx.doi.org/10.30919/esmm993>.
- Ramazanov R.A., Zhussupova A.K., Mamyachenkov S.V., Seraya N.V., Daumova G.K., Azbanbayev E.M. (2021) Thermodynamic Description of Oxidized Zinc Minerals and Comparative Analysis of Their Reactivity. Chemical engineering transactions, vol. 88, 1159-1164, <https://doi.org/10.3303/CET2188193>.
- Ramazanov R.A., Samoilov V.I., Seraya N.V., Daumova G.K., Azbanbayev E.M., Aubakirova R.A. (2021). Investigation of the kinetics of sulphuric acid leaching of zinc from calamine. Metalurgija, 60(1-2), 113–116, <https://hrcak.srce.hr/246104>.
- Ramazanov R.A., Mamyachenkov S.V., Seraya N.V., Daumova G.K., Aubakirova R.A., Bagasharova Z.T. (2021). Research of kinetics of zinc leaching with sulfuric acid from smithsonite. Metalurgija, 60(3-4), 407–410, <https://hrcak.srce.hr/256122>.
- Руды и концентраты цветных металлов (2010). Методы отбора и подготовки проб для химического анализа и определения влаги. Межгосударственный стандарт. Москва. Стандартинформ, 20 с. // Rudy i koncentraty cvetnyh metallov (2010). Metody otbora i podgotovki prob dlya himicheskogo analiza i opredeleniya vlagi. Mezghosudarstvennyj standart. Moskva. Standartinform, 20 s.
- Методические рекомендации по применению классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых (2007). Свинцовые и цинковые руды. – М.: ФГУ ГКЗ, 40 с. // Metodicheskie rekomendacii po primeneniyu klassifikacii zapasov mestorozhdenij i prognoznnyh resursov tvyordykh poleznykh iskopayemykh (2007). Svincovye i cinkovye rudy. – М.: FGU GKZ, 40 s.
- Абрамов А.А. (2005). Технология переработки и обогащения руд цветных металлов, книга 1. – М.: МГГУ, Т. 3. – 575 с. // Abramov A.A. (2005). Tekhnologiya pererabotki i obogashcheniya rud cvetnyh metallov, kniga 1. – М.: MGGU, T. 3. – 575 s.
- Абрамов А.А. (1985). Переработка окисленных руд. – М.: Наука – 232 с. // Abramov A.A. (1985). Pererabotka okslennykh rud. – М.: Nauka – 232 s.
- Абрамов А.А. (2005). Технология переработки и обогащения руд цветных металлов. Рудоподготовка и Cu, Cu-Py, Cu-Fe, Mo, Cu-Mo, Cu-Zn руды, книга 1. – М.: МГГУ, Т. 3. – 575 с. // Abramov A.A. (2005). Tekhnologiya pererabotki i obogashcheniya rud cvetnyh metallov. Rudopodgotovka i Cu, Cu-Py, Cu-Fe, Mo, Cu-Mo, Cu-Zn rudy, kniga 1. – М.: MGGU, T. 3. – 575 s.
- Орлов А.К. (2004). Металлургия свинца и цинка: учебное пособие. – СПб.: Санкт-Петербургский государственный горный институт. – 71 с. // Orlov A.K. (2004). Metallurgiya svinca i cinka: uchebnoe posobie. – SPb.: Sankt-Peterburgskij gosudarstvennyj gornyj institut. - 71 s.

Information about authors

Ramazanov Raigul Amangeldinovna – PhD, East Kazakhstan Technical University named after D. Serikbaeva, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, RRamazanov@edu.ektu.kz, raigul_77_33@mail.ru, 8-776-466-88-89

Shaimardan Nurzhan – PhD, East Kazakhstan Technical University named after D. Serikbaev, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, nurjan2010@mail.ru, 8-701-104-07-86

Saurbayeva Bekzat Sagatbekovna – candidate of chemical sciences, EKTU, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan. saurbaeva71@mail.ru, 87773156261

Tantybayeva Batima – Candidate of Pedagogical Sciences, East Kazakhstan University named after S. Amanzholov, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, batim_54@mail.ru, 8777151114

Mamyachenkov Sergey Vladimirovich – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Non-Ferrous Metallurgy of the Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russia, svmamyachenkov@yandex.ru, +79630464556