

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ  
ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ

"Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті" комерциялық  
емес акционерлік қоғамы

Ө.А. Байқоңыров атындағы Тау – кен металлургия институты

«Металлургиялық процестер, жылу техникасы және арнайы материалдар технологиясы»  
кафедрасы

Рахымбердин Мади Исмаилханұлы

Кедей концентраттардан мысты бөліп алуды зерттеу

**ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС**

6B07203 – Металлургия және пайдалы қазбаларды байыту

Алматы 2023

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ  
ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ

"Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті" коммерциялық емес акционерлік қоғамы

Ө.А. Байқоңыров атындағы Тау – кен металлургия институты

«Металлургиялық процестер, жылу техникасы және арнайы материалдар технологиясы» кафедрасы

**ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ**  
Кафедра меңгерушісі МПЖЖАМТ  
қауымд. проф., Ph.D., тех. ғыл. канд.,

*Т.А. Сепуштанова*  
Сепуштанова Т.А.  
«09» 06 2023 ж.

**ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС**

Тақырыбы: «Кедей концентраттардан мысты бөліп алуды зерттеу»

6B07203 – Металлургия және пайдалы қазбаларды байыту

**ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ**  
НАО «КазНИТУ им.К.И.Сатпаева»  
Горно-металлургический институт  
им. О.А. Байконурова

Орындаған

Рахымбердин Мади

Рецензент  
т.ғ.к., «Гидрометаллургияның  
арнайы әдістері»  
зертханасының меңгерушісі  
*А.К. Койжанова*  
Койжанова А. К.  
«08» 06 2023 ж.

Ғылыми жетекші  
қауымд. проф., Ph.D. докторы

*К.К. Мамырбаева*  
Мамырбаева К.К.  
«07» 06 2023 ж.



Алматы 2023

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ  
ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ

"Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті"  
комерциялық емес акционерлік қоғамы

Ө.А. Байқоңыров атындағы Тау – кен металлургия институты

«Металлургиялық процестер, жылу техникасы және арнайы материалдар  
технологиясы» кафедрасы

6B07203 – Металлургия және пайдалы қазбаларды байыту

**БЕКІТЕМІН**  
Кафедра меңгерушісі МПЖЖАМТ  
қауымд. проф. Ph.D., техн. ғыл. канд.  
Чепуштанова Т.А.  
2022 ж.



**Дипломдық жұмысты орындауға арналған  
ТАПСЫРМА**

Білім алушы: Рахымбердин Мадиді

Тақырыбы: Кедей концентраттардан мысты бөліп алуды зерттеу

Университет Ректорының 2022 жылғы " 23 " қараша № 408-П/Ө бұйрығымен  
бекітілген

Аяқталған жұмысты тапсыру мерзімі : «08» маусым 2023 ж.

Дипломдық жұмыстың бастапқы деректері:

Дипломдық жұмыста қарастырылатын мәселелер тізімі:

- а) мыс құрамды кедей кендерді өңдеу технологиялары;
- б) мысты шаймалау процестеріне термодинамикалық талдау жүргізу;
- в) мысты ерітіндіден бөліп алу жағдайлары;
- г) тіршілік қауіпсіздігі және еңбекті қорғау мәселелері
- д) экономикалық тиімділікті зерттеу есебі

Графикалық материалдар тізімі (міндетті сызбаларды дәл көрсете отырып):

жұмыс презентациясы слайдтарда 15 көрсетілген


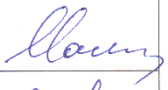
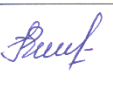
Ұсынылатын негізгі әдебиеттер: 28 атаулардан тұрады

Дипломдық жұмысты дайындау

**КЕСТЕСІ**

| Бөлімдердің атауы, дайындалатын мәселелер тізімі | Ғылыми жетекшіге ұсыну мерзімдері | Ескерту |
|--------------------------------------------------|-----------------------------------|---------|
| Кіріспе                                          | 24.02.2023 м.                     |         |
| Аналитикалық бөлім                               | 02.03.2023 м.                     |         |
| Тәжірибелік бөлім                                | 27.03.2023 м.                     |         |
| Экономикалық бөлім                               | 17.04.2023 м.                     |         |
| Еңбекті қорғау                                   | 15.05.2023 м.                     |         |
| Қорытынды                                        | 05.06.2023 м.                     |         |
| Норма бақылау                                    | 08.06.2023 м.                     |         |

Аяқталған дипломдық жұмыс үшін, оған қатысты бөлімдердің жұмыстарын көрсетумен, кеңесшілер мен норма бақылаушының қойған қолдары

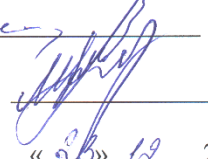
| Бөлімдер атауы        | Кеңесшілер, тегі, аты, әкесінің аты, (ғылыми дәрежесі, атағы) | Қол қойылған күні | Қолы                                                                                  |
|-----------------------|---------------------------------------------------------------|-------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Экономикалық бөлім    | К.К. Мамырбаева<br>қауымд.проф., Ph.D докторы                 | 17.04.2023 м.     |  |
| Еңбекті қорғау бөлімі | К.К. Мамырбаева<br>қауымд.проф., Ph.D докторы                 | 15.05.2023 м.     |  |
| Норма бақылаушы       | С.С. Коньратбекова<br>т.ғ.к., аға оқытушы                     | 08.06.2023        |  |

Ғылыми жетекші



Мамырбаева К.К.

Білім алушы тапсырманы орындауға алды



Рахымбердин М.И.

Күні

« 25 » 12 2022 ж.

## АҢДАТПА

Дипломдық жұмыс 49 беттен, 9 суреттен, 8 кестеден, 28 пайдаланылған әдебиеттер тізімінен тұрады.

Түйін сөздер: мыс, мыс минералдары, шаймалау, термодинамикалық талдау, кедей мыс концентраты, мысты бөліп алу дәрежесі.

Зерттеу нысаны: кедей мыс концентраты, минералды қышқылдар.

Жұмыстың мақсаты: Жензқазған кенорнының кедей концентратынан мысты бөліп алуды зерттеу.

Дипломдық жұмыс 4 бөлімнен тұрады.

Бірінші бөлімде мыс, кедей концентраттардан мысты өндірудің гидрометаллургиялық технологиялары бойынша әдеби шолу келтірілген.

Екінші бөлімде зерттеу әдістемелері, бастапқы кеннің сипаттамалары, термодинамикалық талдау нәтижелері, кедей концентраттардан мысты бөліп алу зерттеулері бойынша жүргізілген эксперименттердің нәтижелері келтірілген.

Физика-химиялық талдау нәтижесінде кедей концентраттың құрамында халькопирит, халькозин, борнит, пирит, гематит, кварц минералдарының бары анықталды.

Тиімді шаймалаушы еріткішті таңдау мақсатымен кедей концентраттағы мыс минералдарының азот қышқылымен өзара әрекеттесу реакцияларының әртүрлі температуралардағы термодинамикалық көрсеткіштері есептелді.

Шаймалау эксперименттерін жүргізу нәтижесінде кедей мыс кендерін шаймалаудың келесідей тиімді параметрлері анықталды: температура 90 °С, қышқыл концентрациясы 100 г / дм<sup>3</sup>, шаймалау ұзақтығы 90 минут. Бұл жағдайда кедей концентраттан мысты бөліп алу дәрежесі 92,68 % жетті.

Үшінші және төртінші бөлімдерде зерттеудің экономикалық тиімділігі, еңбек қауіпсіздігін сақтау бойынша негізгі іс-шаралар келтірілген.

## АННОТАЦИЯ

Дипломная работа состоит из 49 страниц, 9 рисунков, 8 таблиц, 28 списков использованной литературы.

Ключевые слова: медь, медные минералы, выщелачивание, термодинамический анализ, бедный медный концентрат, степень выделения меди.

Объект исследования: бедный медный концентрат, минеральные кислоты.

Цель работы: исследование выделения меди из бедных концентратов.

Дипломная работа состоит из 4 разделов.

В первой части представлен литературный обзор технологий выделения меди из бедных концентратов.

Во второй части представлены методы исследований, характеристики исходной руды, результаты термодинамического анализа и результаты проведенных опытов по извлечению меди из бедных концентратов.

Физико-химическим анализом установлено, что основными минералами в бедном концентрате являются халькопирит, халькозин, борнит, пирит, гематит, кварц.

С целью определения эффективного выщелачивающего растворителя при различных температурах рассчитаны термодинамические параметры реакций взаимодействия минералов меди бедного концентрата с азотной и серной кислотами.

В результате проведения экспериментов определены следующие эффективные параметры выщелачивания меди из бедного медного концентрата: температура 90 °С, концентрация азотной кислоты 100 г/дм<sup>3</sup>, продолжительность выщелачивания 90 минут. При этих условиях извлечение меди из бедного концентрата достигает 92,68 %.

В третьем и четвертом разделах приведены основные расчеты по экономике проведения исследований, меры по защите жизнедеятельности и безопасности труда.

## ANNOTATION

The thesis consists of 49 pages, 9 figures, 8 tables, 28 references.

Keywords: copper, copper minerals, leaching, thermodynamic analysis, poor copper concentrate, the degree of copper separation.

Object of research: poor copper concentrate, mineral acids.

The purpose of the work: investigation of copper extraction from poor concentrates.

The thesis consists of four parts.

The first part presents a literature review of copper extraction technologies from poor concentrates.

The second part presents research methods, characteristics of the original ore, the results of thermodynamic analysis and the results of experiments on the extraction of copper from poor concentrates.

Physical and chemical analysis established that the main minerals in the poor concentrate are chalcopyrite, chalcocite, bornite, pyrite, hematite, quartz.

In order to determine the effective leaching solvent at different temperatures, the thermodynamic parameters of the reactions of the interaction of copper minerals in a poor concentrate with nitric and sulfuric acids were calculated.

As a result of the experiments, the following effective parameters of copper leaching from poor copper concentrate were determined: temperature 90 °C, nitric acid concentration 100 g/dm<sup>3</sup>, leaching time 90 minutes. Under these conditions, the extraction of copper from a poor concentrate reached 92.68 %.

The third and fourth sections present the main calculations on the economics of research, measures to protect life and work safety.

## МАЗМҰНЫ

|                                                            |    |
|------------------------------------------------------------|----|
| Кіріспе                                                    | 9  |
| 1 Аналитикалық шолу                                        | 10 |
| 1.1 Мыс және мыс өнеркәсібі                                | 10 |
| 1.2 Мыс минералдары және өндіру технологиясы               | 12 |
| 1.3 Гидрометаллургиялық өңдеу әдістері                     | 16 |
| 2 Эксперименттік бөлім                                     | 27 |
| 2.1 Бастапқы кен, реагенттер мен жабдықтар                 | 27 |
| 2.1.1 Ерітіндідегі мысты талдау әдістемесі                 | 27 |
| 2.2 Бастапқы үлгінің талдау нәтижелері                     | 28 |
| 2.3 Термодинамикалық талдау                                | 29 |
| 2.4 Кедей концентраттан мысты бөліп алу эксперименттері    | 34 |
| 3 Экономикалық бөлім                                       | 40 |
| 3.1 Зерттеу жұмысын жүргізуге жұмсалған шығындарды есептеу | 40 |
| 3.2 Ғылыми - зерттеу жұмысының жинақ қорын есептеу         | 40 |
| 4 Қауіпсіздік және еңбек қорғау                            | 42 |
| 4.1 Жалпы сипаттама                                        | 42 |
| 4.2 Кәсіпорында электр және өрт қауіпсіздігі               | 43 |
| 4.3 Желдету және жылытуға қойылатын талаптар               | 45 |
| 4.4 Жазатайым оқиғалардан сақтандыру шаралары              | 45 |
| 4.5 Еңбек қорғаудағы өндірістік тазалық шаралары           | 46 |
| Қорытынды                                                  | 47 |
| Пайдаланылған әдебиеттер тізімі                            | 48 |



## КІРІСПЕ

Заманауи металлургия металдарды табиғи шикізат немесе осы шикізаттан алынатын өнімдерді байыту арқылы алумен айналысады. Металды алу үшін шикізат бірқатар процестерден өтіп, терең химиялық өзгерістерге ұшырайды. Металлургия, ғылым сияқты, түрлі металдарға арналған, жеке тарак қатарынан тұрады. Әрбір тарау шикізатты өңдеу реті бойынша өз процестерін зерттейді: алғашында металлургиялық шикізатты өңдеудің анағұрлым күрделі процестері, ал кейін металдарды қарапайым – рафинациялау процестері өтеді.

Мыс өндірісіндегі кендердің құрамы жағынан кедейленуіне және орнына қайта келмеуіне орай, Қазақстан Республикасының төмен сұрыпты кендерін тиімді және рационалды игеру мәселесі халық шаруашылығында айрықша орынды алады. Бұл мәселені шешу міндеттері заманауи геотехнология және гидрометаллургия әдістерін меңгеріп, оларды нақты өндіріс орындарына енгізуге негізделген және осы міндетті шешу ең маңызды мәселелердің бірі болып табылады. Бұл заманауи әдістер бұрын барланған, бірақ өңделмей жатқан миллиондаған тонна кедей тотыққан кен орындарын, ұсақ және орташа кен орындарын тиімді өңдеуге мүмкіндік береді. Қазіргі кезде Жезқазған өңіріндегі кейбір кенорындарындағы мысқұрамды кендерді байыту арқылы алынған концентраттарда мыстың мөлшері өте төмен (шамамен 10 % дейін), мұндай концентраттарды пирометаллургиялық процестермен өңдеу экономикалық жағынан тиімсіз. Сондықтан кедей концентраттарды өңдеу үшін тиімді гидрометаллургиялық өңдеуді зерттеу және технологияны әзірлеу маңызды мәселе болып табылады.

Диплом жұмысының мақсаты: кедей концентраттардан мысты бөліп алуды зерттеу.

Қойылған мақсатты жүзеге асыру үшін келесідей міндеттер қойылды:

- мысқұрамды кедей және қиын байытылатын шикізаттар мен концентраттарды өңдеу жолдары туралы әдеби мәліметтерді жинау;
- кедей концентраттардан мысты бөліп алу технологияларын зерттеу;
- таңдап алынған зерттеу бағытын негіздеу;
- мысты кедей концентраттардан бөліп алудың гидрометаллургиялық өңдеу әдісіне термодинамикалық талдау жүргізу;
- кедей концентраттан мысты шаймалауға әр түрлі факторлардың әсерін зерттеу эксперименттерін жүргізу;
- эксперимент нәтижелерін өңдеу;
- зерттеудің экономикалық тиімділігін есептеу;
- зерттеудің еңбек қауіпсіздік іс-шараларын қарастыру.

Диплом бойынша зерттеу жұмыстары «Металлургиялық процестер, жылу техникасы және арнайы материалдар технологиясы» кафедрасында жүргізілді.

## 1 Аналитикалық шолу

### 1.1 Мыс және мыс өнеркәсібі

Мыс никельмен, қорғасынмен, мырышпен және қалайымен бірге негізгі ауыр металдар тобын құрайды. Осы топтан тек никель ғана "жас" металл болып табылады, оның өнеркәсіптік өндірісі тек ХІХ ғ. соңында басталды. Осы топтың қалған металдары, мысты қоса алғанда, адам дамуының бүкіл тарихы бойы адамға қызмет етеді. Қазіргі қоғам үшін мыстың маңызы өте жоғары.

Д.И. Менделеев элементтерінің периодтық жүйесінде мыс 4 - периодтың І-тобында орналасқан, оның реттік нөмірі - 29. Негізгі топтың элементі ретінде мыстың белсенділігі төмен. Бұл жағдайда ол кен минералдарында, штейнда, кождарда және пирометаллургияның басқа да өнімдерінде кеңінен таралған. Өнімдерде олардың табиғатта және технологиялық процестерде мыс тотығып, тұрақты екі валентті күйге өтеді.

Балқу температурасында (1083 °С) мыс буының қысымы өте аз және шамамен 1,6 Па құрайды. Іс жүзінде мыс оксидтері мен сульфидтері қатты күйде болады.

Мыс - жұмсақ, тұтқыр және оңай иілетін қызыл түсті металл. Электр өткізгіштігі бойынша мыс тек күміске жол береді.

Химиялық тұрғыдан мыс аз белсенді металл, бірақ ол белгілі бір жағдайларда оттегімен, күкіртпен, галогендермен және басқа да элементтермен тікелей қосылуы мүмкін.

Бөлме температурасында құрғақ ауа мен ылғал мыспен жеке-жеке әрекеттеспейді, бірақ дымқыл ауа құрамында  $\text{CO}_2$  газы бар кезде мыс жақсы тотығады және жасыл пленкамен қапталып, негізгі карбонаты  $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$  болып табылатын улы зат түзіледі.

Кернеулердің қатарында мыс сутегіге қарағанда электр оң. Сондықтан тұз және күкірт сияқты қышқылдардың ерітінділерінде тотықтырғыш болмағанда мыс ерімейді. Тотықтырғыш болып табылатын қышқылдарда (мысалы, азот немесе ыстық концентрацияланған күкірт қышқылы) мыс оңай ериді. Оттегінің қатысуымен және қыздыру кезінде мыс аммиакта жақсы ериді.

Жұпталамаған компонент қасиетінде металл 2 изотоптан тұрады –  $^{63}\text{Cu}$  және  $^{65}\text{Cu}$ .  $^{63}\text{Cu}$  изотобының бөлігі 69,09 % -ды қажет етеді, ал  $^{65}\text{Cu}$  -тың изотобының мәні- 30,9 %. Қосылыстарда  $\text{Cu}_2$  тотығу деңгейін көрсетеді, бірақ бұған қоса, мыстың үш валентті комбинацияларының аз саны ғана анықталған. Тағы 100-ге жуық минералдар  $\text{Cu}_2$  тотығу деңгейіне жатады. Бір валентті мыс радиусы +0.96 құрайды.

Металл коррозияға төзімділік пен иілгіштікке ие. Бұл оны жай өңдеуге мүмкіндік береді. Мысалы, Жезқазған мыс балқыту зауытында жасалған 1 мм кесіндісі бар қызыл-сары түсті жіпті кристаллизатор үзілісі болмаған кезде 4 км дейін ұзартуға болады. Бұл мыстың жақсы қасиеттерін зерттеу факторы. Мысты қоса есептегенде 99,99 % жоғары сапалы металл электр қозғалтқыштарының орамдарының басқа тізімі шығарылған кезде 22 отандық және 7 Балтық

зауыттарының фабрикаларында қолданылады. Бір уақытта жылдамдығы 1350 айналыммен айналатын қозғалтқыш білігінде «май» қасиетінде жоғары сапалы металл қолданылады.

Мыстың керемет жылу өткізгіштігі оның электрондық құрылысына байланысты, оның осы қасиеті оны электр және электр өндірісінде, машина жасау мен машина құрастыруда, әртүрлі жылу алмастырғыштарда пайдалануға мүмкіндік береді. Сондай-ақ қоғамдағы балқытылған мыстың елу пайызы барлық энергия тасымалдаушыларда, қоспағанда, станцияларда, қосалқы станцияларда, кабельдерде және сымдарда тұтынылды, біздің уақыт кезеңінде экономиканың осы салаларында, негізінен дюралюминий өнімдерін қолдану көбейді. Олар электр тогы әлсіз болғанына қарамастан, қызыл-сары таза мысқа қарағанда үнемді, қарапайым және қолжетімді болып табылады.

Мыс – салыстырмалы түрде төмен белсенді металл. Құрғақ атмосферада, сондай-ақ оттегі, қалыпты жағдайлардың болуы, ешқандай жолмен тотықтырылмайды. Ол галогендермен, күкіртпен, селенмен жақсы әрекеттеседі. Бірақ сутегі, көміртегі және азот, оның ішінде өте маңызды жылу бар болса, ол ешқандай жолмен шектелмейді. Бірақ сутегі, көміртегі және азот ешқандай жолмен әрекеттеспейді. Тотығу қасиеттері жоқ қышқылдар мысқа аса әсер етпейді.  $\text{Cu}^{2+}$  ионының электртерістілігі - 984 кДж/моль,  $\text{Cu}^{+}$  - 753 кДж/моль. Мыс амфотерлі металлдардың ішіне жатады – жердің сыртқы қабатында аниондар мен катиондар түзеді.

#### *Қазақстанның мыс өнеркәсібі*

Қазақстан барлық елдердің мыс өндірісінің 4 % жуығын, ал ТМД елдерінің ішінде 50 % жуығын құрайды. Осыдан елімізде мысты қолдану жалпы өндірістің 8 % көлемін алады, мыстың 22 % көршілес елдерге, ал 70 % алыс елдерге экспортталады.

Мыс өнеркәсібі – Қазақстанның басты салаларының қатарына кіреді. Қазақстанда мыс кендерінің біршама ресурстары белгіленген (мыс қоры бойынша әлемде төртінші орын) және әлемдік нарықтың 10 % көлемін алады. Қазақстандық геологтардың бағалауы бойынша, еліміздің жер қойнауында шамамен 40 млн. тонна мыс, осыдан республикамыз 17 кен орнын игере отырып, әлемдегі ірі тазартылған мыс өндірушілер мен экспорттаушылардың қатарына кіруге мүмкіндік береді. Қазақстандағы мыстың сенімді қоры шамамен 36, 6 млн. тоннаға бағаланады [1].

Қазақстанның мыс кендері Қалба, Нарын жоталарында, Кенді Алтайда, Ертіс, Есіл бойында, Балқаш маңында, Сарыарқа, Жетісу, Қаратау, тағы басқа көптеген аймақтарда кездеседі (картаны қ.). Біздің заманымыздан бұрынғы 2-мың жылдықтың бас кезінен бастап біздің заманымыздан басына дейін көптеген мыс кендерінің (Жезқазған, Кенқазған, Алтынтөбе, тағы басқа) негізінде Қазақстан мыс пен қола өндірісі жөнінен еуразиялық ең ірі орталықтарының бірі болды. Қазу жұмыстарының көлемі шамамен Жезқазғанда 1 млн т, Кенқазғанда 800 мың т дейін жеткен. Көбінесе тотыққан кентастар өндірілген.

Мыс кендері Қазақстанның көптеген территорияларында таралған. Алтай тауларынан бастап республикамыздың батыс шекараларына дейін мыс кендері

барланған. Мыстың ірі кен орындары Сарыарқада, Жетісу, Жоңғар Алатауында, Шыңғыс және Мұғалжар тауларында, Батыс Торғайда, Теңіз ойпатында, Ақтөбе маңында, Маңғыстауда, Атбасар-Терісқанда, Солтүстік Қазақстанда, Балқаш маңында, Тарбағатай, Сәуір тауларында және тағы басқа орналасқан. Дүние жүзіне белгілі мыс кен орындары Қоңырат, Бозшакөл, Саян, Жыланды, Ақтоғай, Жезкент, Шиелісай және тағы басқа еліміздің ұлттың байлығы болып табылады. Мысты кендерден, сонымен қатар, қорғасын, цинк, молибден, күкірт және тағы басқа компоненттер алынады. Қазақмыстың пайдалануында 17 кеніш бар. Олардың көпшілігі жерасты кеніштері, десек те солардың арасында бірнеше ашық кеніштері де бар. Мысты құмтастардың ең ірі кен орны Жезқазған. Жезқазған кен орны ТМД бойынша бірінші, дүние жүзінде екінші орында. Қазақстан мыс өндіру жағынан дүние жүзінде жетінші орын Өнімнің 92 % шет елге шығарылады.

Қазақстандағы мыс өндіретін өндіріс орындарының бірі Ақтоғай – Балхаш өзенінің шығысында орналасқан кен орны, екі түрлі рудадан тұрады: оксидті және сульфатты. Оксидті руданың қоры 119 млн. тонна, оның 0,3 % мыс, ал сульфитті руда 1,27 млрд. тонна мыс 0,3 пайызын құрайды. Бұл кен орнын 2015 – 2016 ж эксплуатацияға енгізілген, одан жылына 80 мың тонна мыс концентраты шығарылады.

Мыс өндірісінде гидрометаллургиялық әдіске көбірек көңіл бөлінуде. Жыл сайын кен орындары кедейленуде және оны пирометаллургиямен өңдеу қиындай түсуде, соның салдарынан мысты гидрометаллургиялық әдістермен өңдеу маңызды болып тұр [2].

## **1.2 Мыс минералдары және өндіру технологиясы**

Өнеркәсіптің барлық салаларында белсенді қолданылатын мыс әртүрлі кендерден өндіріледі. Бұл мыс кенінің танымалдығы оның құрамындағы мыстың жоғары болуымен ғана емес, сонымен қатар біздің ғаламшарымыздың жер қойнауындағы борнит қорымен де түсіндіріледі.

Мыс кендері - бұл мыстан басқа, олардың қасиеттерін қалыптастыратын басқа да элементтер, атап айтқанда никель бар минералдардың жиналуы. Мыс категориясына осы металдан тұратын кендердің түрлері, оны өнеркәсіптік әдістермен экономикалық тұрғыдан алу орынды болатындай мөлшерде есептеледі. Мұндай жағдайларға мыстың құрамы 0,5 – 1 % шегінде болатын кендерді қанағаттандырады. Біздің планетамыз құрамында мыс бар ресурстардың қоры бар, олардың негізгі бөлігін 90 % мыс-никель кендері құрайды. Таза мыс табиғатта өте аз мөлшерде ұсынылған. Негізінен, табиғатта мыс әртүрлі қосылыстар түрінде бар, олардың ең көп тараған түрлері мыналар болып табылады.

Борнит – Чехия ғалымы И. Борнның құрметіне өз атауын алған минерал. Бұл сульфидті кен, оның химиялық құрамы оның формуласы –  $Cu_5FeS_4$  сипаттайды. Борнит басқа атаулары бар: таңбалы колчедан, мыс пурпур.

Табиғатта бұл кен екі полиморфты түрде ұсынылған: төмен температуралы тетрагональды-скаленоэдрикалық (температура 228 °C аз ) және жоғары температуралы кубтық-гексаоктаэдрикалық (228 °C көп). Бұл минералдың шығу тегіне байланысты әртүрлі түрлері болуы мүмкін. Осылайша, экзогенді борнит - бұл екінші ерте сульфид, ол өте тұрақсыз және желденгенде оңай жойылады. Екінші түрі – эндогенді борнит-химиялық құрамның тұрақтылығымен сипатталады, онда халькозин, галенит, сфалерит, пирит және халькопирит болуы мүмкін. Осылайша, экзогенді борнит - бұл екінші ерте сульфид, ол өте тұрақсыз және желденгенде оңай жойылады. Екінші түрі – эндогенді борнит-химиялық құрамның тұрақтылығымен сипатталады, онда халькозин, галенит, сфалерит, пирит және халькопирит болуы мүмкін. Осы түрлердің минералдары теориялық тұрғыдан құрамына 25,5 % күкірт, 11,2 % темір және 63,3 % мыс кіреді, бірақ іс жүзінде бұл элементтердің мұндай құрамы ешқашан шыдамайды [3].

Халькопирит-химиялық құрамы  $CuFeS_2$  формуласымен сипатталатын минерал. Гидротермалды шығу тегі бар халькопирит бұрын мыс колчедан деп аталды. Сфалерит пен галенитпен қатар ол полиметалл кендерінің санатына кіреді. Мыстан басқа, құрамында темір мен күкірттен тұратын бұл минерал метаморфикалық процестердің өтуі нәтижесінде қалыптасады және мыс кендерінің екі түрі: контактілі-метасоматикалық түрі скарналар және таулы метасоматикалық грейзендер болуы мүмкін.

Халькозин-сульфидті кен, оның химиялық құрамы  $Cu_2S$  формуласымен сипатталады. Мұндай кен құрамында мыс 79,8 % және күкірт 20,2 % айтарлықтай саны бар. Бұл Кенді жиі "мыс жылтыр" деп атайды, бұл оның беті қорғасын – сұрдан мүлдем қара түске дейін түрлі реңктері бар ағартқыш металл сияқты көрінеді. Құрамында мыс бар кенде халькозин тығыз немесе ұсақ түйіршікті қосылыстар сияқты көрінеді.

Куприт  $Cu_2O$  - оксидті топтың минералдарына жататын малахит және өзіндік мыс бар жерлерде жиі кездеседі. Ковеллин - метасоматикалық жолмен қалыптасқан сульфидті тұқым. Алғаш рет бұл минерал, ондағы мыс мөлшері 66,5 % құрайды, алдыңғы жүзжылдықтың басында Везувия маңында табылған. Қазір ковеллин АҚШ, Сербия, Италия, Чили сияқты елдерде кен орындарында белсенді өндіруде.

Азурит - минерал, ол көк түске байланысты "мыс Лазурь" деп аталады. Оның негізгі кен орындары Мароккода, Намибияда, Конго, Англия, Австралия, Франция мен Грецияда өңделеді. Азурит жиі малахитпен араласады және жақын жерде сульфид түріндегі құрамында мыс бар кен орындары орналасқан жерлерде жатыр.

Табиғатта мыс негізінен сульфидті кен түрінде кездеседі, сирек оксидті қосылыстар  $Cu_2O$  түрінде. Қазіргі уақытта 80 % мыс сульфидті кендерден балқиды. Олардың ең көп тараған мыс колчедан, құрамында  $CuFeS_2$  халькопириті бар. Көптеген мыс кендері полиметалл болып табылады және құрамында мыс, мырыш, қалайы, темір, күміс және басқа элементтер бар. Бос жыныстың құрамына әдетте кварц, түрлі алюмосиликаттар, кальцит және басқа қосылыстар кіреді [4].

Барлық мыс кендері салыстырмалы кедей болып табылады және құрамында әдетте 1–3 пайыздан аспайтын мыс бар. Сондықтан мұндай кендерді байытады. Бұл мақсат үшін кен минералдары мен бос жыныстар бөлшектерінің әртүрлі сулануына негізделген флотация әдісін жиі қолданады. Өзінің жоғары электр өткізгіштігінің арқасында (барлық металдардан жасалған мыс – күмістен кейінгі екінші) ол әсіресе құнды электр техникалық материал болып саналады. Бұрын әлемдік мыс өндірісінің 50 % дейін өткен электр сымдары бүгінде барынша қолжетімді алюминийден дайындалады. Мыс, басқа түсті металдардың көпшілігімен қатар, тапшы материал болып саналады. Бұл бүгінгі күні 5 % мысты қамтитын бай кен деп аталатындығымен байланысты, ал оның негізгі өндірісі 0,5 % кендерін өңдеу арқылы жүргізіледі. Өткен ғасырларда бұл кендер 6-дан 9 % Cu-ға дейін болды [5].

Мыс кен орындарының тотыққан және аралас кендерінің үйінділерін өңдеудің жаңа технологиясының нәтижелері ұсынылған. Тасқора кен орнындағы үйінді материалына қатысты аралас флотациялықгидрометаллургиялық технология әзірленді. Кенді минер алдану шамамен бірдей мөлшерде тотыққан және сульфидті мыс минералдарымен ұсынылған, ал мыс қорлары 20 мың тонна, ал оның орташа мөлшері 1,01 %. Мыстың аммиакпен шаймалануы аз зерттелген болса да, күкірт қышқылына балама болып табылады. Әзірленген технологияның жаңа инновациялық шешімі - тотыққан мыс минералдарын қышқылсыз күрделі түзуші реагент - аммоний сульфатымен-аралас мыс кенін ұнтақтау процесінде тікелей шаймалау, содан кейін сульфидтерді шартты мыс концентратына флотациялау. Мысты шаймалау механизмі аммоний сульфатының малахитпен су ортасында артық аммоний сульфатымен бірге ұнтақтау процесінде өзара әрекеттесуі мысалында ұсынылған.

Инновациялық технологиялар ғылыми-зерттеу Орталығының тәжірибелік-өнеркәсіптік учаскесінде "Қазгидромедь" ЖШС құрамында мыс бар 27,86 % мыс концентраты алынды, оны алу кезінде 47,6 % және ер ітіндіге алу кезінде мыс концентрациясы 1,24 г/дм<sup>3</sup> өнімді ерітінді алынды 40,36 %. Осылайша, мыстың жоғары жиынтық алынуына қол жеткізілді - 87,96 %. Сұйық фазаны флотациялық қайта өңдеудің барлық өнімдерінен бөліп алатын құрамында мыс бар өнімді ерітінді Lewatit MonoPlus TP 207 катионитінде сорбцияға және электролизге жіберілді. Нәтижесінде M00к маркалы катодты мыс алынды.

Мыс баяу балқитын металдарға жатады. Оның тығыздығы 8,98 г / см<sup>3</sup> кезінде балқу және қайнау температурасы тиісінше 1083 °С және 2595 °С құрайды. Бір валентті мыс тұздары сәл боялған немесе мүлдем түссіз, ал екі валентті мыс өзінің тұздарымен сулы ерітіндіде тән бояуды береді. Таза мыс қызыл немесе қызғылт сынықта түсті тартқыш металл. Жұқа қабаттың саңылауында ол жасыл немесе көк болып көрінуі мүмкін. Мыс қосылыстарының көпшілігі бірдей түсті.

Мыс өндіретін зауыттардың шикізатына кендерден басқа қалдықтардан жасалған мыс қорытпалары кіреді. Көбінесе олар күкірт қосылыстарында 1 – ден 6 % дейін мысты қамтиды: халькозин және халькопирит, ковеллин, гидрокарбонаттар және оксидтер, мыс колчедан. Сондай-ақ, кальций, магний,

силикаттар, пирит және кварц карбонаттарын қамтитын бос жыныспен қатар кен құрамында алтын, қалайы, никель, мырыш, күміс, кремний және т.б. сияқты элементтердің құрамдас бөліктері болуы мүмкін. Біріншісі тотығу реакцияларының нәтижесі ретінде алынады, ал екіншісі алғашқы болып саналады.

Мыс құрамына 198 минерал кіретініне қарамастан, өндірісте тек оның жеті минералы маңызды. Бұл негізінен сульфидтер, фосфаттар, силикаттар, карбонаттар және сульфаттар. Негізгі рудалық минералдары халькопирит  $CuFeS_2$ , ковеллин  $CuS$ , борнит  $Cu_5FeS_4$  және халькозин  $CuS$ . Сульфаттар: брошантит, халькантит. Сульфидтер: ковеллин, халькозин, халькопирит, борнит. Қызыл түсті, иілгіш, созылғыштың нағыз мыс қорытпасы [6].

Карбонаттар су жағдайында көк және жасыл түске ие, бұл сапа карбонаттарды іздеудің тәжірибелік белгісін анықтайды. Тәжірибелік маңыздыларға: таза мыс, сульфидтер, сульфаттар және карбонаттар силикаттар.

Қазақстанның шикізат базасын дамыту Шығыс Қазақстандағы Ақбастау, Құсмұрын, Ақтоғай мыс кен орындары, Павлодар облысындағы Бозшакөл, Қарағанды облысындағы мыс-молибден кен орындарының Қаратал тобы базасында тау-кен өндіру кәсіпорындарын салу қолға алынды.

Бұл кен орындарын игеруге тарту мәселелері, ең алдымен, төмен сұрыпты кендерді тиімді игеруге мүмкіндік беретін технологиялық проблемаларды шешумен байланысты. Мысалы, қазіргі уақытта құрамында 0,33 % мысы бар 1604 млн тонна минералды ресурстарды Ақтоғай кен орны үймелеп шаймалау әдісімен игеруде. 2021 жылға қарай қайта өңдеу қуатын екі еселеу үшін өндірісті кеңейту жүзеге асырылуда. Бұл ретте Ақтоғай кенішін пайдалану мерзімі шамамен 40 жылға бағаланады. Шығыс аймақ мысты жер асты өндіреді үш кеніш және ілеспе байыту фабрикалары бар, құрамында 2,26 % мысы бар 35 млн тонна минералды ресурстарды меңгеруде. 2019 жылы мырыш, алтын және күміс түріндегі ілеспе өнімнің елеулі көлемі бар 48 мың тонна мыс өндірілді.

Кен өндіру кәсіпорындарының пайдалануға дайындалған мыс қорымен қамтамасыз етілуі шамалы және шамамен 25-30 жылды құрайды. Сонымен қатар республикада мыс кені өнеркәсібінің минералдық-шикізат базасын дамыту үшін әлеуетті мүмкіндіктер бар. Шығыс және Орталық Қазақстанның бірқатар полиметалл кен орындары минералдық-шикізат базасын нығайтуға арналған резерв болып табылады. Ақтоғай, Айдарлы, Ақтөбе, Құсмұрын, Шадыркөл, Қарағайлы, Көктажал, Көксай және Бозшакөл мыс-порфир үлгісіндегі ірі кен орындары Республика кен базасының жетекшісі болып табылады. Сонымен қатар Жезқазған, Шемонаиха, Ақбастау, Усть-Таловка, Саяқ, Сатпаев, Балқаш қалаларында мысты өндіруде зор үлес қосып жатыр [7].

Көбінде ерітіндіде олардың мөлшерінің көп болуы мына себептерге байланысты:

- атмосфералық жауын-шашынның көп болуы;
- шаң борандардан;
- жаңа үймелерде шаймалауды жүргізу кезінде беттегі бөлшектердің қозғалуынан;

- ұсақ бөлшектердің әр түрлі агломерациялануынан;
- шаймаланатын кеннің құрамында ұсақ бөлшектердің аса көп болуынан;
- үйменің бұрышының бұзылуынан немесе «жуылуынан».

### 1.3 Гидрометаллургиялық өңдеу әдістері

Мыс темір мен алюминийден кейінгі өнеркәсіп үшін маңызды үшінші металл болып саналады. Қазіргі уақытта мысты шаймалау күкірт қышқылы орталарында жүргізіледі, онда процесс кеңінен танымал және металлургиялық және экономикалық көрсеткіштер негізінен сенімді. Алайда қышқылмен шаймалау кейбір мыс кендерінде бар алтын мен күмісті алуға мүмкіндік бермейді және осылайша, олардың экономикалық пайдасын ала алмайды.

Шаймалау бойынша операциялардың көпшілігі аралас оксидті сульфидті кенді қамтиды және күкірт қышқылының сұйылтылған ерітінділерімен сілтіледі. Әдетте, үйінділердегі шаймалау ерітіндіні ең аз бақылаумен орындалады және мысты алу кенде болатын 40-60 % аспайды. Өндіру кен денесінде тенорит және мелаконит сияқты мыстың толық немесе толық тотыққан минералдары бар кезде одан да нашар болады. Мұндай кен құрамында мыстың көп бөлігі 50 % дейін және одан да көп қышқылда ерімейтін мыс ретінде талданады, бұл шын мәнінде сілтілендірілетін материалдың тиімді тазалығын 50 % төмендетеді. Осылайша, құрамында 0,3 % мыс бар кен денелері үшін материалды шаймалаудың тиімді дәрежесі бар болғаны 0,15 % құрайды.

Қышқылда ерімейтін фракцияның қалпына келтірілуін жақсарту әрекеттері сәтті болмады. Мұндай күш шаймалау үшін 100 г/л астам күкірт қышқылының жоғары концентрациясын пайдалануды және кенді ұсақтауды, күшті қышқылмен агломерацияны және типтік сілтісіздендіруді орындау алдында біраз уақыт ішінде қатаюды қамтитын технологияларды қамтиды. Қышқылдың жоғары концентрациясымен шаймалау жағдайында кен қышқылын жоғары тұтынумен және тұндыру үшін қондырғыға үйінділерден қалдық қышқылының жоғары болуымен байланысты айқын проблемалар пайда болды [8].

- Мысты экстракциялық бөліп алу – төрт негізгі кезеңді қосатын технология:
- күкірт қышқылында мыстың еруі (шаймалау);
  - мысты экстракция арқылы органикалық ортаға бөліп алуы;
  - органикалық фазадан электролит бөлінуімен, мыстың реэкстракциясы;
  - электролиттен мыстың катодты электротұндырылуы.





1 - сурет – Мысты гидрометаллургиялық технологиямен бөліп алу сұлбасы

Қышқыл шығынымен және қалдық қышқылмен жұмыс істеуге байланысты жоғары құн мұндай процедураны экономикалық емес және жағымсыз етеді. Бүгінгі жоғары шығындар кезінде кенді ұсақтау және өңдеу қолайлы емес, себебі бұл экономикалық емес [9]. Қазіргі уақытта төменгі сортты тотыққан мыс кенінен мыс алу үшін шаймалау әдісі табылды, ол үнемді, тез және жоғары мыс алу болып табылады.

Экстракцияның және реэкстракцияның әр кезеңінде органикалық фаза бірінші сулы фазамен араласады, содан кейін одан бөлініп бастайды. Кеннің минералдық құрамының тәуелділігіне қарай мысты экстракциямен бөліп алу технологиясын қолдану арқылы тазалығы жоғары катодты мысты алуға және процестің жоғары экономикалық тиімділігін қамтамасыз етуге болады.

Үймелеп шаймалау-бұл үйінділерге салынған, ілеспе өндірілген баланстан тыс және кедей баланстық ірі кесекті кендерді химиялық немесе бактериялық шаймалау арқылы қайта өңдеу тәсілі, олардан пайдалы компоненттерді әдеттегі байыту немесе гидрометаллургиялық әдістермен алу (пачуктарда, автоклавтарда және басқа да аппараттарда шаймалау) тиімсіз.

Тотыққан кендерден мысты үймелеп шаймалау технологиясы келесі кезеңдерден тұрады:

- ұнтақтау;
- кенді гидроизолирленген негізге салу;
- сілтілеу;
- өнімді ерітіндіден мысты экстракциялау;
- мыс реэкстракциясы;
- мыс электролизі;
- қалдықтарды кәдеге жарату [10].

Кенді үймелеп шаймалау алдында ұсақтау кенді өңдеудің техникалық экономикалық көрсеткіштерін арттыру мақсатында жүргізіледі. Бірқатар жағдайларда осы операцияны енгізу металды алудың 1,5-2 есе ұлғаюына әкеледі.

*Үймелеп шаймалау процесі* әлемдік тәжірибеде кеңінен қолданылады. Шаймалау үшін мыс (малахит, азурит, хрикозолла және т.б.) тотыққан минералдары басым кендер қолайлы болып табылады. Халькопирит басым кендер үймелеп шаймалау әдістерімен өңдеу үшін құрамы бойынша қолайсыз. Екінші сульфидтері басым кендер (ковеллин, халькозин, борнит) аралық орын алады: олардан мыс алу мүмкін, алайда олардың қышқылданған кендермен салыстырғанда шаймалау жылдамдығы төмен.

Перколяциялық шаймалау еріткіш дренажымен жүргізіледі, жарылыс нәтижесінде кен қабатына айдалады немесе құйылады. Құрастырмалы құдықтар, жер асты шаймалауы сияқты, орнында шаймалау кезінде де, өнімді ерітінділерді жинауға және көтеруге арналған сорғылармен жабдықталады [11]. Мұндай өндіру әдісімен металды бөліп алуды, көп жағдайда, анықтау мүмкін емес; үймелі және төгінділер шаймалауларынан төмен, бірақ жер асты шаймалауынан жоғары болатынын күтуге болады. Ерітінділердің жер астында орын ауыстыруын қадағалау жеткіліксіз, бірақ жер асты шаймалауға қарағанда жоғары. Мысал ретінде, Asarco Silver Bell, Gunpowder Copper and Myanmar Ivanhoe Copper Company кәсіпорындарын келтіруге болады.

Кендердің немесе концентраттардың агитациондық шаймалануы агитаторларда жүргізіледі, кейіннен, таза ерітінді алу үшін қатты мен сұйықтың бөліну операциясы жүреді. Бұл әдістің қолданысы, әдетте, байыту процестерінің экономикалық көрсеткіштерімен шектеліп қалады, себебі ұнтақтау процесі қымбат тұрады.

*Чандық шаймалауға* ұсақталған кен ұшырайды. Әдетте, мұндай әдісті еру процесінің жоғары жылдамдығы кезінде және құрамында бөлінетін металдың жоғары мөлшері бар, тотыққан кен үшін қолданады. Өнім ерітінділері құрамында үймелі шаймалау кезіне қарағанда, металл көбірек; ол процестің жоғары жылдамдығымен және шаймаланатын материалдардағы металдың жоғары мөлшерімен қамтамасыз етіледі.

Сульфидтердің тотығу жылдамдығы температураның көтерілуі немесе оттегі концентрациясының артуы мүмкін екені белгілі.

Өнімді ерітінділер үймелеп шаймалау көбінесе мыс бойынша кедей болып табылады (5 г/л дейін) және құрамында қоспалардың металлдары көп (темір, магний және т.б. (40-50 г/л дейін) бар. Осыған байланысты, бұл ерітінділер көп жағдайда мысты тікелей алуға жарамсыз. Мысты алу үшін қолайлы жағдайлар жасау үшін сұйықтықты экстракция жолымен мысты шоғырландыру жүргізіледі. Мысты экстракциялауды араластырғыштұндырғыш жүйесі ең көп таралған түрлі аппаратурада жүргізеді. Ерітінділердің химиялық құрамына және Мыстың құрамына байланысты экстракция операциясын бір немесе бірнеше сатыда жүргізеді. Мысты экстракциялау бірнеше сатыда жүргізілген жағдайда су және органикалық фазалардың қарсы ағынын ұйымдастырады [12].

Экстракция нәтижесінде мыс 85 - 95 % органикалық фазаға өтеді, ал қоспалардың негізгі бөлігі су ерітіндісінде қалады. Сыпырылмаған су ерітінділерін экстракциядан кейін күкірт қышқылы бойынша бекітеді және сілтісіздендіруге қайтарады. Мыс бойынша қаныққан органикалық фазаны реэкстракция сатысына жібереді, оны күкірт қышқылына дейін қышқылданған мыс электролизінен кейін ерітінділермен жүргізеді. Жуу нәтижесінде органикалық фазаны металдардан қоспалар қосымша тазартылады. Реэкстракция нәтижесінде алынған су ерітіндісі мыстан тұрады. Реэкстракция сатысынан алынған иесізденген органикалық фаза өнімді ерітінділерден мыс экстракциясына үймелеп шаймалауға қайтарылады.

*Бактериялық шаймалау* - бұл олардың кендерінен металдарды алу микроорганизмдерді пайдалану. Микробиологиялық технология тау-кен өнеркәсібі үшін экономикалық балама ұсынады, ал жоғары сұрыпты минералды ресурстар таусылады. Жоғары сапалы минералды шикізат қорының сарқылуына және табиғатты қорғау шараларының күшеюіне байланысты кендерден металдарды алу мен өңдеудің өсіп келе жатқан құны тау-кен өндіру және металлургия өнеркәсібіндегі жаңа технологиялардың дамуына ықпал етті. Биошаймалау технологияның ресурс сыйымдылығын төмендету және қоршаған ортаға аз зиянды әсер ету арқылы кенді байытудың дәстүрлі физикалық және химиялық әдістеріне тартымды балама болып табылады.

Соңғы онжылдықта кендерден құнды компоненттерді алу мақсатында микроорганизмдерді өнеркәсіптік қолдану әлемнің әртүрлі елдерінде кең ауқымға жетті.

Минералдық шикізатты өңдеу саласындағы ғылыми-техникалық прогрестің бағыттарының бірі кенді пайдаланудың кешенділігін айтарлықтай арттыруға, өңдеу құнын төмендетуге және қоршаған ортаны тиімді қорғауды қамтамасыз етуге мүмкіндік беретін аралас технологияларды қолдану болып табылады. Мұндай технологиялардың, мысалы, кейіннен бактериялық шаймалау арқылы байыту процестерін біріктіру болуы мүмкін.

Пайдалы қазбаларды өзгерту және айналдыру процесінде микроорганизмдердің рөлін анықтау геологиялық микробиологияның негізгі міндеттерінің бірі болып табылады. Мыс, мырыш, никель, молибден және тағы басқа сияқты көптеген бағалы металдар табиғатта сульфид түрінде кездеседі. Жер қыртысының тотығу жағдайында сульфидтер әртүрлі тотығу агенттерінің әсерінен сульфаттарға айналады. Көптеген сульфаттар суда жақсы ериді [13]. Сондықтан кен орындарында сульфидтердің тотығуы оларды шаймалау арқылы жүреді.

Сульфидті кен орындарында өтетін бактериялық процестер сульфидті кендерді гидрометаллургиялық өңдеуді қарқындату үшін пайдаланылуы мүмкін.

Заттардың айналымындағы бактериялардың рөлі бұрыннан белгілі болғанына қарамастан, көптеген онжылдықтар микроорганизмдердің қызметі түрлі органикалық қосылыстардың қирауы мен өзгеруінен ғана пайда болды. Қазіргі уақытта микроорганизмдердің 5000-нан астам түрі белгілі, олардың

ішінде Бейорганикалық заттардың деструкциясы мен синтезіне, геохимиялық процестерге қатысатын бактериялар бар.

Биогеотехнология органикалық емес қосылыстар (оның ішінде сульфидті минералдар) энергия көзі болып табылатын хемолитотрофты бактерияларды пайдалануды білдіреді. Отандық және шетелдік микро - биологтармен сульфидті минералдардың тотығуына ықпал ететін көптеген ықтимал пайдалы микроорганизмдер анықталды, дегенмен, ең белсенді штамдарының көпшілігі сипаттамасы толық емес. Бишаймалау технологияларының дамуы мен оңтайландырылуы бактериялардың сульфидті кендермен өзара әрекеттесуінің механизмдері мен кинетикасын білуді талап етеді [14].

Әдетте металдарды алу кезінде микроорганизмдерді пайдалану екі мақсаттың бірін көздейді: металдардың ерімейтін сульфидтерінің еритін сульфаттарға айналуы (немесе тотығуы) немесе химиялық заттардың ерімейтін сульфаттарға жақсы әсер етуі үшін жағдай жасау және қажетті металды еріту. Бірінші процестің мысалы ковеллин  $CuS$  немесе халькозин  $Cu_2S$  сияқты Мыстың ерімейтін қосылыстарының еритін сульфаттарға айналуы болып табылады. Екінші процестің мысалы - алтынды арсенопириттен  $FeAsS$  темір, мышьяк және күкіртті алу, нәтижесінде минералда қалған алтын циандау арқылы оңайырақ бөлінеді. Осы екі процесс тотығу болып табылады. Егер өндірілетін металл ерітіндіге ауыстырылса, бұл био шаймалау туралы. Металл кенде болған кезде-биоқышқыл туралы. Дегенмен, "бишаймалау" термині екі жағдайда да жиі қолданылады.

*Жерасты шаймалау.* Мысты шаймалау жүз жылдан бері қолданылып келеді, оның жер асты нұсқасы жер бетінде орналасқан кен орындарынан мыс алу үшін ықтимал қолданылады. Мұндай нұсқа шығындарды жоюға мүмкіндік береді. Мысты жер асты шаймалау мыстың және құрамы кедей кендерге қолданылады. Шолуда жер асты шаймалау жағдайында мыстың еру жылдамдығы мен толықтығына әсер ететін химиялық және физикалық процестер қарастырылған. Ең көп таралған мыс порфир кендері немесе шаймалау ерітінділері үшін өтетін табиғи құрылымы бар немесе өткізгіштігі гидравликалық (жер асты суларының деңгейінен төмен) немесе жарылыс әсерінің (су деңгейінен жоғары) көмегімен жасанды түрде жасалуы мүмкін. Уақыт өте келе кен құрамының өткізгіштігін төмендететін факторлар физикалық немесе химиялық процестерге байланысты болуы мүмкін. Салдары ашық пораларды газдармен, гипспен, ярозиттермен және механикалық қоспалармен бұғаттау болып табылады [15].

Құрамында мыс тотыққан минералдары бар кендерді өңдеу кезінде жер асты шаймалау ерітіндідегі концентрацияға және күкірт қышқылының салыстырмалы көлеміне байланысты, ал екінші мыс сульфидтері болған кезде қышқыл мен тотықтырғыш концентрациясына байланысты болады. Жерасты шаймалау көрсеткіштерін болжау кезінде әр түрлі физикалық және химиялық факторларды ескеру қажет. Алдын ала өңдеу және онсыз мысты жер астында шаймалаудың соңғы жобаларын сипаттайтын деректер келтірілген (кен денесінің өткізгіштігін арттыру үшін). Мысал ретінде АҚШ-тың мыс кен

орындары, мұнда Мыстың тарихи бөлігі кедей кендерден жер бетінде шаймалау әдісін пайдалана отырып өндiрген. АҚШ-тың бiрқатар мыс кен орындарында жер асты шаймалау бойынша қазiргi заманғы жобалар келтiрiлген. Бұл жобалар негiзгi параметрлер ретiнде кен қабатының өткiзгiштiгiн, гидрогеологиялық жағдайды, ерудiң селективтiлiгiн, морфологиясын, қуатын, минералдану көлемi мен тереңдiгiн ескередi. Мысқа қатысты жалпы қабылданған ерiткiш ретiнде оксидтi минералдарды үймелеп шаймалау кезiнде қолданылатын күкiрт қышқылының әлсiз ерiтiндiлерiн қолданады. Жерасты шаймалау процесiнiң мыспен қаныққан ерiтiндiлерiн мынадай схема бойынша өңдейдi: сұйық экстракция – электролиз [16].

*Аммиакты ерiтiндiмен шаймалау:* гидрометаллургиялық процестерде мыс өнеркәсiбiнiң жаңа тәсiлi. Аммиак пен аммоний тұздары төмен уыттылық пен құнының, алу жеңiлдiгiнiң және металдарды алудың жоғары селективтiлiгiнiң арқасында гидрометаллургиялық процестерде тиiмдi шаймалау агенттерi болып танылды. Осы агенттердiң шаймалаудың елеулi артықшылықтары туралы зерттеулердiң жаңа нәтижелерi және қышқыл сiлтiсiздендiрумен байланысты проблемаларды жою әлемдегi осы әдiске жаңа көзқарасқа алып келдi. Бұл саладағы зерттеулер басқа негiзгi металдармен салыстырғанда кендер мен концентраттардан мыс алу үшiн осы әдiстi жиi пайдалану туралы куәландырады. Осы жұмыста аммиакты сiлтiлеудiң негiзi мен түрлi әдiстерiн сипаттауға және мыс бойынша осы саладағы негiзгi зерттеулердi ұсынуға әрекет жасалды. Сондай-ақ, соңғы нәтижелер және олармен байланысты жаңа процестер ұсынылды. Осы әдiстiң қышқылмен шаймалау әдiсiне қатысты артықшылықтары мен кемшiлiктерiн бағалауды, мыстың аммиактың шаймалануын кинетикалық зерттеудi және құрамында су мен аммиак бар жүйедегi Еh–рН диаграммаларын бағалауды қоса алғанда, салыстырулар осы зерттеудiң басқа бөлiктерi болып табылады. Ақырында алынған ерiтiндiлерден мыс алу жөнiндегi зерттеулердi сипаттай отырып, қолданылатын экстракциялық агенттер қарастырылды.

Сынақтар 0,95 % мыс және 40 % еритiн мыс (шамамен) бар Мантос Бланкос аралас кендерiмен жүргiзiлдi. Алдын-ала талдаулар әр түрлi рН, бөлшектердiң мөлшерi және аммоний мен хлоридтiң концентрациясы кезiнде аммиакты шаймаланудан бастап, ең жақсы жұмыс жағдайларын анықтауға бағытталған. Жауын-шашын сынақтары кезiнде күкiрт пен күкiрт диоксидiнiң аммонийдiң әртүрлi деңгейiне әсерi зерттелдi. Эксперименттер реагенттердi (коллекторлар мен көбiктендiргiштердi) және олардың тиiстi дозаларын таңдау үшiн жүргiзiлдi. Аммиакты шаймалау 500 мл ерiтiндiнi және келесi сатыға сәйкес жiктелген уақытты ескере отырып, көлемi 1 л араластыратын реакторларда 60 мин шаймалау жүргiзiлдi.

Аммиакты шаймалаудың ең жақсы шарттары: рН 9, 2 м аммиак концентрациясы, 30 мас. % қатты заттар мен шаймалау уақыты 60 минут болды. Бұл максималды қалпына келтiру жылдамдығын 75 % бердi. Аммиакты шаймалау рН 8 - де басталды, содан кейiн РН 9 әкпен бекiтiлдi [17]. Кейiн тұндыру сульфуризация кезiнде өздiгiнен жүредi, аммиактың жалпы

концентрациясы 1 М, 100 % SO<sub>2</sub>, 200 % S және 30 % мас. қатты заттар. Еритін мыс жұмыс жағдайында 0,38-ден 0,035 % - ға дейін төмендеді, сондықтан кенді сульфациялағаннан кейін флотацияның келесі сатысына өтуге болады. Жақсы көрсеткіштерге SF-323 (15 г/т), SF-114 (40 г/т) және MIBC (55 г/т) көмегімен қол жеткізілді, бұл мыс концентратының 12,9 % және 80 % экстракциясын берді. Шаймалау мен тұндырудың тиімділігі 3 М NaCl қосудан айтарлықтай зардап шеккен жоқ, өйткені атакамитке ұқсас минералдарды өңдеу және теңіз суын пайдалану үлкен проблемалар туғызбайды.

*Хлоридті ерітінділермен аралас кендерді шаймалау.* Хлоридтер негізіндегі процестер металлургия және химия өнеркәсібінде және өнеркәсіп саласында маңызды рөл атқарады. Маңызды рөлге негізделген маңызды факторлардың бірі хлор-негізделген процестер хлорды рециркуляциялау жеңілдігі. Хлорды су ортасының электролизімен газ ретінде шығаруға болады. Хлоргидрат және аммоний хлориді су ерітінділері мен қатты денелерден ұшуға болады. Осылайша, хлоридтер негізіндегі процестер қалдықтарды жоюсыз таза технологиялар саласындағы қазіргі заманғы үрдістерге жауап береді. Бұдан басқа, хлоридті тұздар тұрақты, улы емес, қолайлы бағамен оңай қол жетімді және су ерітінділерінде оңай еритін. Хлорлы ортадағы материалдардың көпшілігі үшін еріту кинетикасы басқа жүйелерден жақсы. Бұл көптеген металл иондарының хлорид-ионды кешендері және кешендер пассивті пленкалардың өсуін азайтады [18].

Хлорид және оның қосылыстары, металл хлоридтерін қоса алғанда, тиімді тотықтырғыштар болып табылады. Темір хлориді және мыс хлориді көп материалдарды тез тотықтырады және электролизбен немесе хлормен тотықтандырумен Мұқият өндірілуі мүмкін. Мыс сульфидтерін, халькопиритті тез және толық шаймалау үшін, әсіресе, күшті тотықтырғыштар қажет. Бұл хлоридтің темір немесе мыс рұқсаттарымен немесе олардың комбинациясымен өте тиімді. Бұл жылдам тарифтер қарапайым температура мен қысымда, металды жоғары құтқарумен ажыратуға мүмкіндік береді. Пирит шабуылға ұшырамайды және қарапайым күкіртпен шаймалау қалдығында қалады.

*Автоклавты шаймалау.* Соңғы онжылдықтарда автоклавты шаймалау кеңінен таралуда. Ол жоғары сапалы кенді немесе концентраттарды өңдеу үшін қолданылады. Мысалдарға Albion Process, CESL Process, Mt Gordon Process және Phelps Dodge Process жатады. Сапа бойынша өндірістік ерітінділер, әдетте, барлық басқа процестерге қарағанда жақсы.

Қиыстырылған және тұтас сульфидті кендер үшін байыту сатысында қойыртпақты механикалық және пневмомеханикалық араластыра отырып автоклавты шаймалау арқылы қайта өңделетін бай мыс, мырыш, қорғасын концентраттарын және полиметалл өнеркәсіп өнімдерін ала отырып, аралас технологиялар. Қышқылдың болуы мыс сульфидтерін әртүрлі тотықтырғыштармен, мысалы, ауа оттегімен (автоклавты шаймалау әдісі) немесе тотықсызданған темір ионымен тотықтыруға қолайлы ортажасайды. Бірінші жағдайда реакция теңдеулер бойынша ағады [19].

*Агитациялық шаймалау.* Кенді немесе концентраттарды үгіттік шаймалауды (чандық шаймалау) үгіттеушілерде жүзеге асырады.

Ұсақталған кен шаймалауға ұшырайды. Әдетте бұл әдіс алынатын металдың көп мөлшері бар тотыққан кен үшін және еріту процесінің жоғары жылдамдығымен, сондай-ақ флотация қалдықтары мен тотыққан мыс кендері үшін қолданылады. Өндірістік ерітінділерде үйінді шаймалауға қарағанда көп металл бар, бұл шаймаланатын материалдардағы жоғары металл құр амымен және жоғары технологиялық жылдамдықпен қамтамасыз етіледі.

Схемаға кіретіні кенді -13 мм-ге дейін ұсақтау, 0,3 мм класының 95 % - на дейін ұнтақтау, күкірт қышқылымен шаймалау. Целлюлоза қалыңдатқыштарға, қоюландырылған өнім қоқысқа, ал РН 1,5-2 кезінде ағызу экстракцияға түседі. Төгіндідегі мыс мөлшері 2,5 г/дм<sup>3</sup>, қатты 4-10 г/дм<sup>3</sup>, температура 20 °С, экстракцияны Liх - 64N реагентімен жүргізеді. Органикалық фаза бөлінгеннен кейін 25 г/дм<sup>3</sup> Si және 130 г/дм<sup>3</sup> H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> бар ерітінді электролизге түседі.

*Кенді орнында шаймалау.* Орнында шаймалау жарылыспен жойылған кен қабатына айдалатын немесе құйылатын еріткішті дренаждау арқылы жүзеге асырылады. Жерасты шаймалау кезіндегі сияқты, жинау құдықтары орнында шаймалау кезінде өнім ерітінділерін жинауға және көтеруге арналған сорғылармен жабдықталады. Өндірудің бұл әдісімен металдарды алу көбінесе анықталмайды, бірақ ол үйінділерге немесе үйінділерді шаймалауға қарағанда едәуір төмен болады, бірақ жер астыға қарағанда жоғары болады деп күту керек. Жер астындағы ерітінділердің қозғалысын бақылау жеткіліксіз. Мысал ретінде кәсіпорындар бола алады: Asarco Silver Bell, Gunpowder Copper and Myanmar Ivanhoe Copper Company.

*Аралас кендерді тотықтырғыштардың қатысында шаймалау.* Аралас кендерден мысты толық бөліп алу үшін кейбір зерттеушілер негізгі шаймалаушы еріткішке әр түрлі тотықтырушы реагенттерді қосу арқылы шаймалау процесін жүргізеді.

Зерттеушілер құрамында 1,5 % Со және 1,6 % Си бар Конго Республикасының катинга провинциясындағы Си-Со кенінен мысты бөліп алу зерттеулерін жүргізді. Шаймалау реагенттері ретінде күкірт қышқылы мен сутегі асқын қоспалары қолданылды. Алдымен шаймалау эксперименттері сутегінің асқын тотығынсыз күкірт қышқылының 0,36-1,1 М ерітінділерімен жүргізілген, сондағы мыс пен кобальттың бөлінуі ~ 80 % және ~15 % құрады. Кейіннен тотықтырушыны 0,008-0,042 М көлемінде 0,36 М күкірт қышқылы ерітіндісіне қосумен шаймалау эксперименттерін 20 °С температурасында 3 сағ. бойы жүргізген кезде мыс пен кобальттың ерітіндіге бөліну дәрежелері 90 % дейін жоғарылады. 30 °С температурасында жүргізілген эксперименттер кобальттың 90 % дейін шаймалану ұзақтығы 2 сағатқа төмендегенін көрсетті. Термодинамикалық талдаулар, Eh-pH диаграммалары көрсеткендей, сутегі асқын тотығы өте маңызды реагент, яғни ерітіндінің потенциалын 300-350 mV төмендететіндігін көрсетті [20]. Шаймалау кинетикасын зерттеу кен бөлшектерінің радиучтарының азаю бағытының моделінің кинетикасына сәйкес екендігін, жылдамдық константасының сутегі асқын тотығының

концентрациясының 0-0,025 М аралығында сызықты тәуелдікте болатындығын және  $(1/r^2)$  мәніне пропорционалды екендігін дәлелдеді. Шаймалау процесінің активтілік энергиясы 72,3 кДж / моль құрады.

Конго Республикасының Катанга провинциясы сияқты Орталық Африканың аймағындағы мыс-оксидті кен орнында мыс (2-4 % Cu) және кобальт (1-3 % Co) бар. Бұл кендер үшін үймелеп және бактериялдық шаймалауды қарастырды. Өнеркәсіптік үйінділерде немесе құмырда күкірт қышқылы малахит сияқты оксид минералдарынан мыс алу үшін қолданылады. Азурит  $Cu_3(CO_3)_2(OH)_2$  және хризоколла  $Cu_2H_2Si_2O_5(OH)_4 \cdot nH_2O$ . Күкірт қышқылы штейннен мысты жеңіл түрде шаймалау үшін де қолданылды.

Конго Республикасы Катанга провинциясындағы Cu-Co кені әр түрлі жағдайларда Cu және Co шаймалануын анықтау үшін сыналды, атап айтқанда: (А) бөлшектердің мөлшері 5-тен 52-ден 150 мкм-ге дейін, (б) температура: 10, 20 және 30 ° С, (в) күкірт қышқылы: 0,046-1,10 м және (г) сутегі асқын тотығы: 0-0,42 М. мыс күкірт қышқылын қолдана отырып, 80 % экстракцияға қол жеткізу үшін шаймалануы мүмкін. Сутегі асқын тотығын қосу арқылы 90 % дейін жақсарды (0,008-0,042 М). Кобальт 20 ° С кезінде ~ 90 % - ға дейін шаймалау үшін кем дегенде 0,025 М сутегі асқын тотығын қосуды қажет ететіндігі анықталды. Шаймалау термодинамикасы (Eh және pH диаграммалар), Stabcal бағдарламалық жасақтамасымен анықталған және тестілеу кезінде бақыланатын, сутегі асқын тотығының тотықсыздандырғыш ретіндегі рөлін растады. Шаймалау негізгі шөгу моделінің кинетикасына сәйкес жүргізілді. Жылдамдық тұрақтысы 0-0,025 М диапазонындағы сутегі асқын тотығының концентрациясына сызықтық тәуелді және пропорционалды  $(1/r^2)$ , мұндағы r-бөлшектердің орташа радиусы. Шаймалау үшін активтендіру энергиясы 72,3 кДж / моль құрайды [21].

Орталық Африкадағы қиын байытылатын мыс кендерінде карбонатты, сульфидті және фосфатты минералдармен байланысқан мыс минералдары бар екен. Бірнеше зерттеушілер CrO материалынан қышқылды шаймалау арқылы мыс алу кальцит, доломит, асболан және темір оксидтері сияқты қышқылды тұтынатын артық минералдардың болуына байланысты экономикалық тұрғыдан мүмкін емес деп мәлімдеді. Мыс қышқылында CuS ерімейтін үлесі мыстың жалпы мөлшерінің шамамен 28 % құрайды. Демек, Замбиядағы Нчанг шахтасында жүздеген миллион тонна CrO материалы жиналды. CrO материалындағы мыстың таралуы тұрғысынан жалпы мыстың едәуір бөлігі карбонаттар 39 % және оксидтер 17 % түрінде болады, ал 28 % мыс қышқылда CuS ерімейді. Мыстың қалған бөлігі карбонаттар 16 % және (гидр) оксидтер 17 % түрінде болады. Бұл қышқылсыз қышқылды шаймалау процесінде барлық мыстың тек 72 % ғана алынады дегенді білдіреді. Бұл зерттеу шикізаттың pH-нің әртүрлі мәндерінде ганга қышқылының Шығыс мәндерін анықтау және CrO материалындағы мыс, марганец және темірдің шаймалану сипаттамаларын бағалау үшін CrO бөлшектерін ( $d_{95} = 95 \%$ ) мерзімді шаймалау сынақтарын өткізді. Кейіннен мерзімді сынақтардан алынған шаймалаудың оңтайлы



жағдайларын қолдана отырып, CrO қатты бөлшектерін (106 мкм, 80 % өткізу) үздіксіз шаймалау сынақтары жүргізілді [22].

Кендер мен концентраттардан мысты гидрометаллургиялық жолмен алу күрделі гетерогенді процесс болып табылады, оның жылдамдығы еріткіштің химиялық табиғатымен, оның құрамымен, сонымен бірге мыс минералдарының құрылымы мен химиялық қасиеттерімен анықталады. Кендегі металдың үлесіне, минералдардың физика-химиялық қасиеттеріне, кен орнының қуаттылығына, тау-геологиялық және климаттық жағдайларға байланысты мыс кендері мен оның концентраттарын өңдеудің гидрометаллургиялық тәсілдері агитациялық, чандық, перколяциялық, жер асты және үймелі шаймалау арқылы жүргізіледі [23].

*Қысыммен шаймалау* – жаңа технология, оның көп бөлігі әлі зерттелу үстінде. Ол жоғары сапалы кендер мен концентраттар үшін қолданылады. Мысалы, Albion Process, CESL Process, Mt. Gordon Process және Phelps Dodge Process. Өнімді ерітінділер сапа жағынан, басқа процестерге қарағанда, жақсырақ. Қазіргі кезде құрамында 0,3 - 0,4 % Cu бар төмен сұрыпты кендерден мысты химиялық шаймалаумен қатар бактериялық шаймалау да қолданылып жатыр. Құрамында 0,2 - 1,5 % мыс бар сульфидті және аралас кендерді үйінділік бактериялық шаймалау шетелде 10 - нан астам кәсіпорындарда, негізінен АҚШ пен Чилиде, Австралияда, Африкада кеңінен таралған. Осы шаймалау әдісімен бұл елдерде уран, алтын, күміс алынады. Бұл елдерде осы әдістермен алынған өнімді ерітіндіні әрі қарай SX-EW (Solvent extraction – Electro Wining) (сұрыптап экстракциялау және электролиз) технологиясымен өңдеу қабылданған. Кедей кендерді осы технологиямен өңдеудің экономикалық және экологиялық жағынан тиімді болуымен қатар, оның артықшылығы - соңғы алынатын металдың тазалығы 99,999 - 99,9995 % жетеді.

SX-EW (Solvent extraction – Electro Wining) - “*шаймалау-экстракция-электролиз*” технологиясы бойынша мысты бөліп алу соңғы жылдары мысты өндіруде 20 % көпті құрап отыр, мамандардың пікірі бойынша осы әдіс түсті металдар өндірісіне көптеп енгізілетін болады. Бұл үстіміздегі ғасырда пайда болған технологиялық және әлеуметтік-экономикалық мәселелермен, атап айтқанда кендегі негізгі металдардың үлесінің азаюына, энергетикалық ресурстардың бағасының артуына, қоршаған ортаны қорғау талаптарының күшеюіне байланысты.

Өндірістік практикаға SX-EW технологиясындағы экстракция процесін енгізу үшін зерттеу кезінде әдетте мыстың су және органикалық фазаларда таралу коэффициентіне әсер ететін факторларды қарастырады. Барлық таралу коэффициентіне әсер ететін факторларды зерттей келе, мыналарды бөліп көрсетуге болады:

- таңдап алынған лабораториялық қондырғынының тепе-теңдік уақыты;
- қышқылдың концентрациясы және ерітіндінің рН;
- әр түрлі аниондардың концентрациясы;
- катион концентрациясы;
- экстрагенттің құрылымы;

- температурасы;
- сұйылтқыш;
- процесс механизмі;
- таңдап алынған аппаратағы масса алмасу жылдамдығын есептеу және оған әсер етуші факторларды анықтау.

Алынған мәліметтерге сүйене отырып жүйе таңдалады және экстракцияның инженерлік сұрақтары шешіліп жартылай өндіріске жіберіледі.

Бастапқы экстракция бойынша зерттеулерді шағын апараттарда жүргізеді. Осы зерттеулерден кейін ең жақсы экстрагент таңдалады және берілген жүйеге сәйкес экстракцияның шарттарын анықтайды. Содан соң шағын масштабта үздіксіз жүретін экстракцияға зерттеулер жүргізеді, ал алынған мәліметтерді үлкен масштабта жүргізетін процесті шамалайды.

Мысты гидрометаллургиялық әдіспен алудың негізгі мәселелері:

- 1) металды тотыққан және аралас кендерден, кедей концентраттардан бөліп алу;
- 2) металды қалдықты және кен суларынан алу;
- 3) басқа әдістердің экономикалық көрсеткіштері бойынша өңдеуге келмейтін кедей кендерден металды бөліп алу болып табылады.

## 2 Эксперименттік бөлім

### 2.1 Бастапқы кен, реагенттер мен жабдықтар

Бастапқы зерттеу объектісі ретінде Қазақстанның Жезқазған облысының кәсіпорындардың бірінен алынған мысқұрамды кедей концентрат сынамалары қолданылды.

Кедей концентраттағы мыс металының үлесі 7,20 %, бұл өте кедей концентратқа жатады. Мұндай кедей концентратты өңдеу пираметаллургиялық процестермен тиімсіз, сондықтан оны гидрометаллургиялық өңдеу технологиясын қолдану арқылы мысты жоғары дәрежеде бөліп алуға болады.

Алайда, мұндай шикізатқа сәйкес, тиімді реагенттерді таңдап, шаймалау процесі арқылы мыстың тағы да көп бөлігін бөліп алуға болады.

Бұл технологияның тиімділігін ең алдымен мыстың түрлі минералдарын ерітуге қабілетті реагентті қолданумен арттыруға болады.

Дипломдық жұмыс тақырыбы бойынша зерттеулерді жүргізу үшін бастапқы реагенттер ретінде келесідей заттар мен қондырғылар қолданылды.

*Бастапқы материалдар мен реагенттер:*

- Жезқазған кен орнының кедей мыс концентраты;
- Азот қышқылы  $\text{HNO}_3$ ;
- Күкірт қышқылы  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ;
- Тиосульфатты натрий–  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ;
- 1 %-дық калий йодиді кристалдары,  $\text{KI}$ ;
- Калий иодының 1-проценттік кристалдары;
- 1 пайыздық крахмал ерітінісі;

*Қондырғылар:*

- вакуумдық насос;
- Бюхнер воронкасы;
- пипеткалар;
- фильтрatty қағаздар;
- иономер, И-75;
- таразы, ВЛ-220М.

#### 2.1.1 Ерітіндідегі мысты талдау әдістемесі

Кедей концентратты шаймалау кезінде алынатын өнімді ерітіндідегі мыс иондары йодометриялық титрлеу арқылы, темір иондары – спектрометриялық талдау арқылы анықталды [28].

## 2.2 Бастапқы үлгінің талдау нәтижелері

Бастапқы кен химиялық талдау көмегімен зерттелді. Нәтижесінде Жезқазған кен орынының кедей концентратының құрамы келесідей екендігі анықталды (1-кесте).

Кесте 1 – Жезқазған кен орынының кедей концентратының құрамы

| № | Элементтер                     | Құрамы, % |
|---|--------------------------------|-----------|
| 1 | Cu                             | 7,20      |
| 2 | Zn                             | 0,87      |
| 3 | Fe                             | 5,43      |
| 4 | SiO <sub>2</sub>               | 65,5      |
| 5 | CaO                            | 3,15      |
| 6 | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 4,90      |
| 7 | S                              | 8,61      |
| 8 | Қалғандары                     | 2,15      |

Үлгіні рентгендифракциялық әдіспен талдау нәтижесінде кедей концентраттың құрамында келесідей минералдар бары анықталды (2-кесте)

Кесте 2 – Жезқазған кен орынының кедей концентратының минералогиялық құрамы

| Минералдар                              | Құрамы, % | Компоненттер                   | Құрамы, % |
|-----------------------------------------|-----------|--------------------------------|-----------|
| Халькопирит<br>CuFeS <sub>2</sub>       | 3,10      | CaO                            | 5,20      |
| Халькозин Cu <sub>2</sub> S             | 3,22      | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 11,50     |
| Борнит Cu <sub>2</sub> FeS <sub>4</sub> | 4,78      | K <sub>2</sub> O               | 1,50      |
| Пирит<br>FeS <sub>2</sub>               | 2,14      | MgO                            | 2,00      |
| Гематит Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>  | 6,51      | Na <sub>2</sub> O              | 1,70      |
| Кварц<br>SiO <sub>2</sub>               | 57,6      |                                |           |

Концентраттың минералогиялық құрамынан мыс тек қана сульфидті минералдар түрінде кездесетіндігі, соның ішінде негізгі мыс минералдары болып халькопирит – CuFeS<sub>2</sub>, халькозин – Cu<sub>2</sub>S, борнит – Cu<sub>5</sub>FeS<sub>4</sub> табылатындығы анықталды. Концентраттың басым бөлігін кремнезем SiO<sub>2</sub>, глинозем Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> және темір қосылыстары құрайды.

Мұндай құрамды шикізат негізінен пирометаллургиялық өңдеуге жіберіледі, бірақ концентраттағы мыстың мөлшері төмен болғандықтан гидрometаллургиялық өңдеу ұсынылады.

Осылайша, физика-химиялық талдаулардың нәтижесінде сынамаларда негізгі тотыққан мыс минералдары малахит, азурит, куприт; сульфидтік минералдар: халькопирит, ковеллин, халькозин; темірминералдары: сидерит және пирит.

Рентгеноспектроскопияның көмегімен кенде бос жыныстың мынандай минералдары анықталды: 80 % - кремний оксиді -  $\text{SiO}_2$ , қалғаны: алюмосиликат –  $\text{Al}_2\text{SiO}_5$ , Мусковит –  $\text{KAl}_2(\text{Si,Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ , Калийгидросульфаты -  $\text{K}(\text{HSO}_4)(\text{H}_2\text{SO}_4)$ , Алюминий сульфаты –  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ , Каолинит –  $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ , Андалузит –  $\text{Al}_{1,920}\text{Mn}_{0,023}\text{Fe}_{0,057}(\text{O}(\text{SiO}_4))$ , Пирофилит –  $\text{Al}_2\text{SiO}_4(\text{OH})_2$  Накрит –  $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ .

### 2.3 Термодинамикалық талдау

Зерттеу нысаны болып Жезқазған кен орынының кедей концентраты болып табылды.

Зерттеу барысында Оутокумпу Оу компаниясының HSC Chemistry 5 компьютерлік негізін қолдана отырып, мыстың негізгі минералы болып табылатын минералдарының еру процестеріне, соның ішінде  $\text{Cu-N-H}_2\text{O}$ ,  $\text{Cu-S-H}_2\text{O}$  жүйелеріне Пурбе диаграммаларын тұрғызу, мыс минералдарының әртүрлі қышқылдармен өзара әрекеттесу реакцияларының көрсеткіштері есептеліп, шаймалау процесіне термодинамикалық талдау жасалды

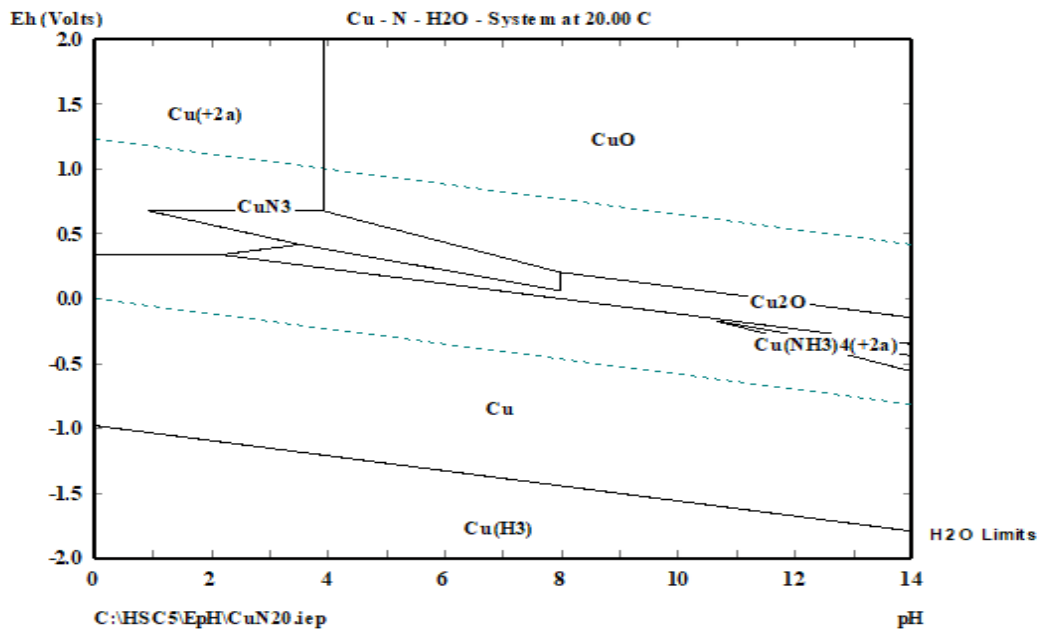
#### *Термодинамикалық талдау нәтижелері*

Мыстың кедей концентратын гидрометаллургиялық өңдеу жүргізуде бірінші және ең негізгі болып шаймалау реагентін дұрыс таңдау. Ол үшін алдыңғы кезекте мыстың минералдарының еру сипаттамаларын негізгі минералдар мен еріткіштің өзара әрекеттесу реакцияларының термодинамикалық көрсеткіштерін есептеу қажет.

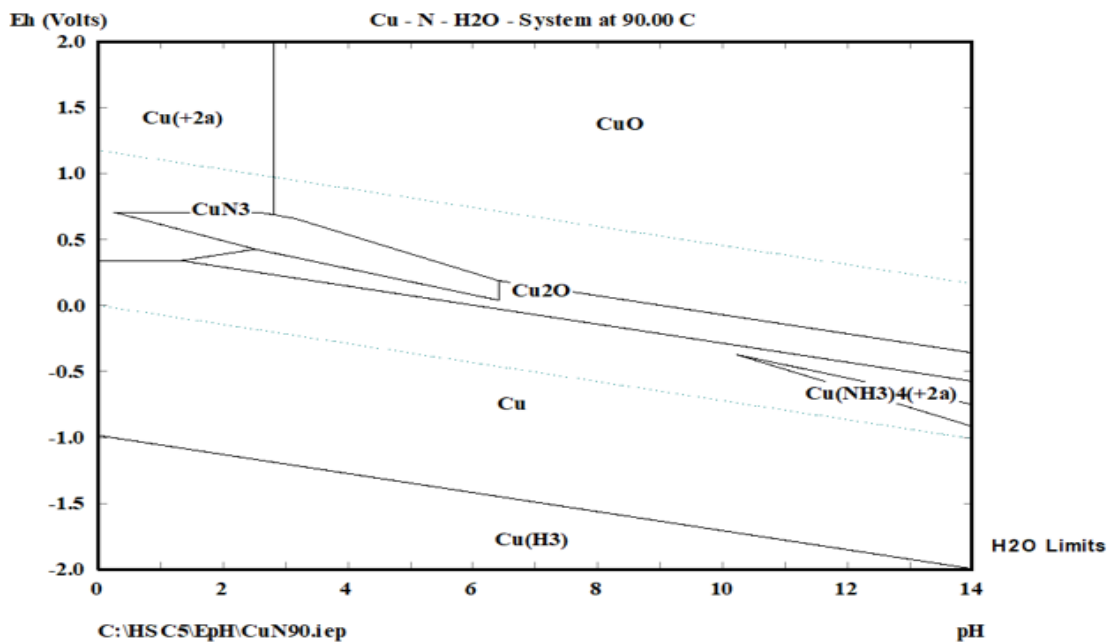
HSC Chemistry 5 жүйесін қолдана отырып күкірт және азот қышқылды жүйелерге Пурбэ диаграммаларын тұрғызып, мыс минералдарының еру реакцияларының Гиббс энергиялары есептелді, нәтижелер төменде келтірілген (2-3 суреттер).

#### *$\text{Cu-N-H}_2\text{O}$ жүйесінің термодинамикалық талдауы*

$\text{Cu-N-H}_2\text{O}$  жүйесінің термодинамикалық талдауы 20 - 90 °C температуралық аралықта жүргізілді, нәтижелер 2, 3 – суреттерде келтірілген.



2 - сурет – Cu-N-H<sub>2</sub>O жүйесінің 20 °C температурасындағы Пурбэ диаграммасы



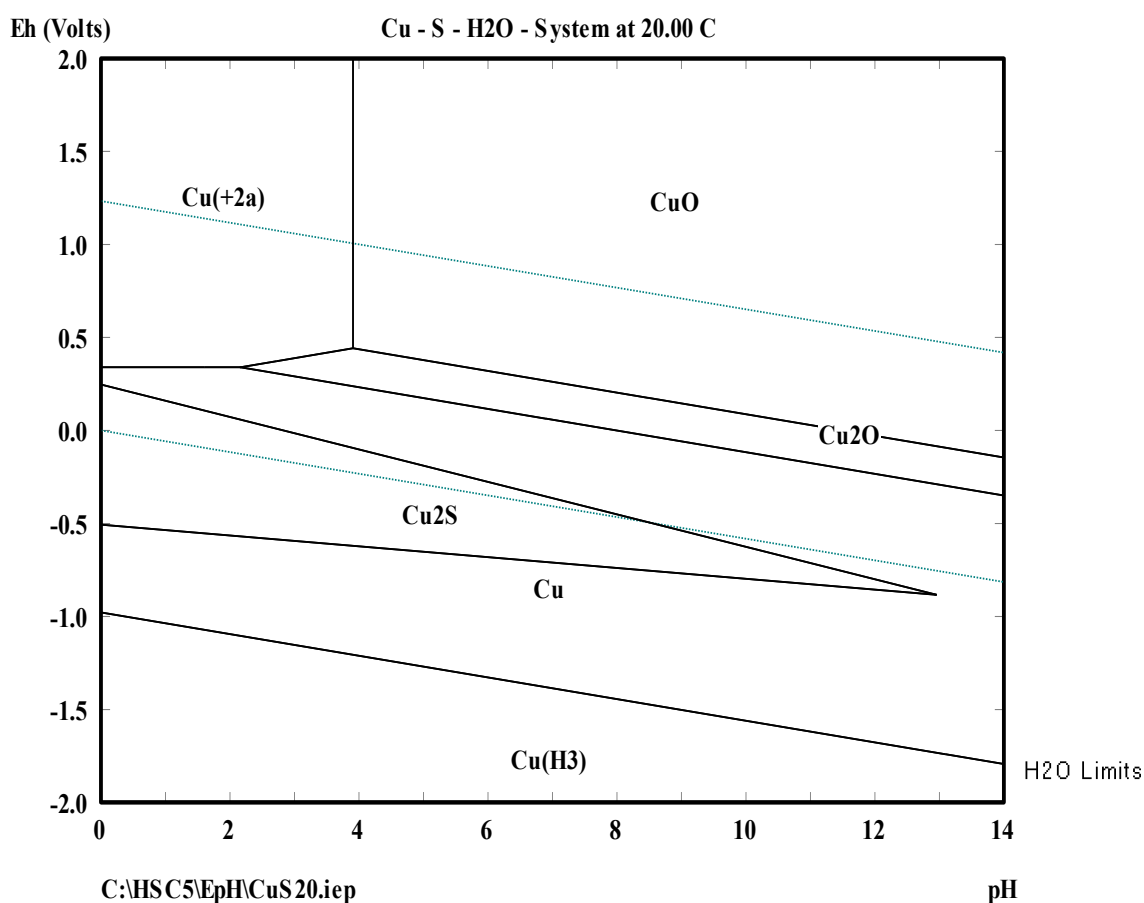
3 - сурет – Cu-N-H<sub>2</sub>O жүйесінің 90 °C температурасындағы Пурбэ диаграммасы

20°C температурада Cu-N-H<sub>2</sub>O жүйеде (1 және 2 - сурет) рН 0 - 14 диапазонында Cu<sup>2+</sup>, [Cu(NH<sub>3</sub>)<sub>4</sub>]<sup>2+</sup> иондары және CuН<sub>3</sub>, Cu (тотықсыздану аймағында), ал жүйенің потенциалы 0,32 мВ жоғары болғанда CuN<sub>3</sub>, Cu<sub>2</sub>O, CuO қатты фазалар пайда болады.

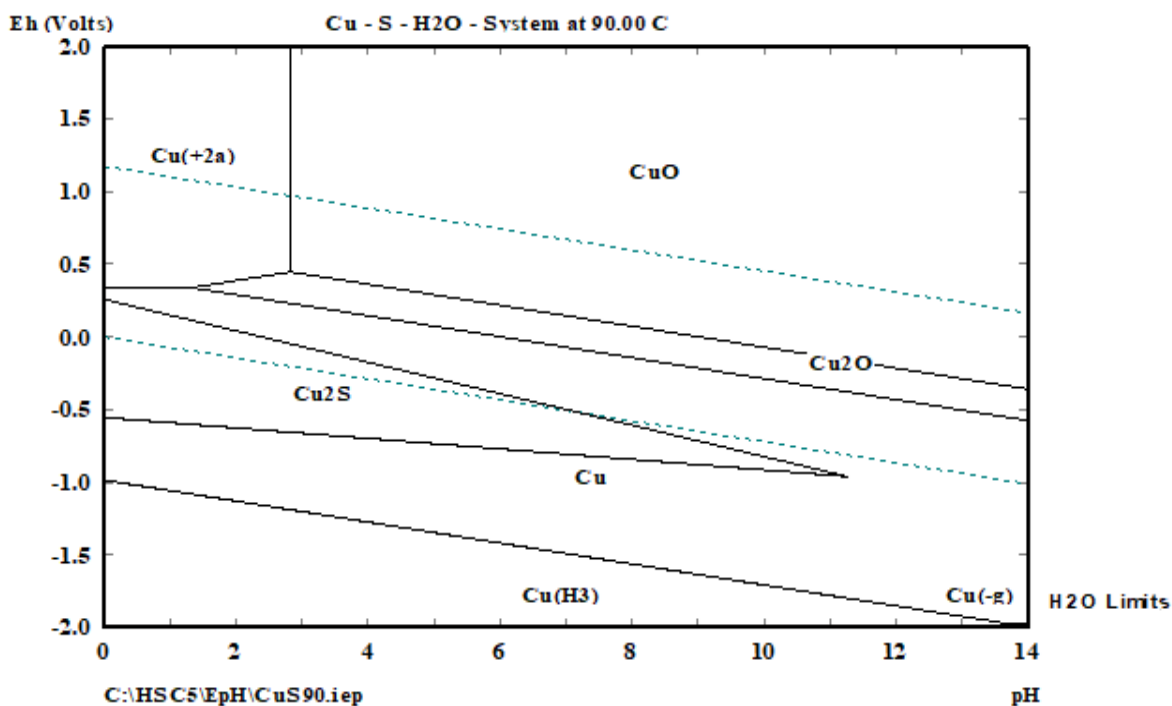
Температура 90 °С кезінде Cu<sup>2+</sup> түзілу аймағы 0 - ден рН 2,8 дейін тарылады, ал CuN<sub>3</sub> және [Cu(NH<sub>3</sub>)<sub>4</sub>]<sup>2+</sup> үшін кеңейеді. Бұл дегеніміз, температура мен потенциал жоғарылаған сайын мыс оксидтерді түзуге бейім екенін көрсетеді.

Cu - S - H<sub>2</sub>O жүйесінің термодинамикалық талдауы

Cu-S-H<sub>2</sub>O жүйесінің Пурбэ диаграммасы 20 және 90 °С температураларында тұрғызылды, нәтиже 3-суретте келтірілген.



4 - сурет – Cu-S-H<sub>2</sub>O жүйесінің 20°C температурадағы Пурбэ диаграммасы



5 - сурет – Cu-S-H<sub>2</sub>O жүйесінің 90°С температурасындағы Пурбэ диаграммасы

Cu-S-H<sub>2</sub>O жүйесінің Пурбэ диаграммасы рН 0-14 аралығында жүйеде CuH<sub>3</sub>, Cu, Cu<sub>2</sub>S, CuS, Cu<sub>2</sub>O, CuO конденсацияланған фазалар және мыс иондары Cu<sup>2+</sup> түзілетіндігін көрсетті. Соңғы иондар тек қышқыл (рН 0-4) ортада түзіледі. Температураның жоғарылауымен бұл жүйеде де Cu<sup>2+</sup> түзілу аймағы кішірейіп, рН 0-4 аралығынан рН 0-3 өзгерді.

Шаймалау реакцияларының термодинамикалық көрсеткіштері

Мыс минералдарын азот еріту мүмкіндігін болжау және нақтылау үшін мыстың негізгі минералдарының мүмкін болатын реакцияларының термодинамикалық көрсеткіштері әртүрлі температурада есептелді (2 және 3 - кесте).



Кесте 3 – Кедей концентраттың негізгі минералдарының 30 °С – 90 °С аралығында азот қышқылымен әрекеттесуінің ΔG көрсеткіштері

| № | Реакциялар                                                                                                                                       | ΔG, кДж /моль |          |         |         |
|---|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|----------|---------|---------|
|   |                                                                                                                                                  | 30 °С         | 50 °С    | 70 °С   | 90 °С   |
| 1 | $\text{Cu}_2\text{S} + 8\text{HNO}_3 = 2\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + 4\text{NO}_2(\text{r}) + \text{S} + 4\text{H}_2\text{O}$                      | -1009,89      | -1041,15 | -1065,3 | -1089,9 |
| 2 | $\text{CuFeS}_2 + 8\text{HNO}_3 = \text{CuSO}_4 + \text{FeSO}_4 + 4\text{NO}(\text{r}) + 4\text{NO}_2(\text{r}) + 4\text{H}_2\text{O}(\text{r})$ | -224,65       | -233,16  | -235,9  | -241,4  |
| 3 | $3\text{Cu}_2\text{S} + 16\text{HNO}_3 = 3\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{NO}_2(\text{r}) + 2\text{H}_2\text{O}$                               | -1622,12      | -1633,24 | 1641,5  | 1653,1  |
| 4 | $\text{Cu} + 4\text{HNO}_3 = \text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{NO}_2(\text{r}) + 2\text{H}_2\text{O}$                                            | -1512,42      | -1534,33 | -1551,7 | -1582,3 |
| 5 | $3\text{FeS} + 8\text{HNO}_3 = 3\text{FeSO}_4 + 8\text{NO}(\text{r}) + 4\text{H}_2\text{O}$                                                      | -63,63        | -60,72   | -58,2   | -54,6   |
| 6 | $3\text{Cu}_2\text{S} + 16\text{HNO}_3 = 3\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{NO}_2(\text{r}) + 2\text{H}_2\text{O}$                               | -171,34       | -176,54  | -180,4  | -182,7  |
| 7 | $\text{CuO} + 2\text{HNO}_3 = \text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + \text{H}_2\text{O}$                                                                     | -1857,92      | -1881,32 | -1900,6 | -1931,2 |

Концентраттағы сульфидті минералдардың – пирит, халькопирит және халькозиннің азот қышқылында еру реакциясының термодинамикалық есептеулері температура 20 °С бастап 90 °С дейін жоғарылаған жағдайда барлық реакциялардың Гиббс энергиясы мәндерінің төмендейтінін көрсетті.

Кесте 4 – Кедей концентраттың негізгі минералдарының 30 – 90 °С аралығында күкірт қышқылымен әрекеттесуінің ΔG көрсеткіштері

| № | Реакциялар                                                                                                                                 | ΔG кДж /моль |         |         |         |
|---|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|---------|---------|---------|
|   |                                                                                                                                            | 30 °С        | 50 °С   | 70 °С   | 90 °С   |
| 1 | $\text{Cu} + 2\text{H}_2\text{SO}_4 = \text{CuSO}_4 + \text{SO}_2(\text{r}) + 2\text{H}_2\text{O}$                                         | -56,91       | -59,62  | -63,67  | -65,79  |
| 2 | $\text{CuO} + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{CuSO}_4 + \text{H}_2\text{O}$                                                                  | -78,56       | -79,67  | -77,69  | -78,12  |
| 3 | $2\text{CuFeS}_2 + 18\text{H}_2\text{SO}_4 = 2\text{CuSO}_4 + \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + 17\text{SO}_2(\text{r}) + 18\text{H}_2\text{O}$ | -170,79      | -224,53 | -286,13 | -341,65 |
| 4 | $\text{Cu}_2\text{S} + 6\text{H}_2\text{SO}_4 = 2\text{CuSO}_4 + 5\text{SO}_2(\text{r}) + 6\text{H}_2\text{O}$                             | -22,87       | -37,71  | -53,72  | -70,82  |
| 5 | $\text{CuS} + 4\text{H}_2\text{SO}_4 = \text{CuSO}_4 + 4\text{SO}_2(\text{r}) + 4\text{H}_2\text{O}$                                       | 3,80         | -10,41  | -24,83  | -35,21  |
| 6 | $2\text{FeS} + 10\text{H}_2\text{SO}_4 = 9\text{SO}_2(\text{r}) + \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + 10\text{H}_2\text{O}$                       | -241,75      | -271,62 | -299,32 | -329,45 |

Сульфидті минералдардың бірі пирит басқа минералдармен салыстырғанда азот қышқылымен оңай әрекеттесетіндігі, одан кейін халькозин,

халькопирит, ковеллин, металдық мыс, куприт азот тұздарын, азотты газдарды, күкірт және су түзе отырып, әрекеттесетіндігі анықталды.

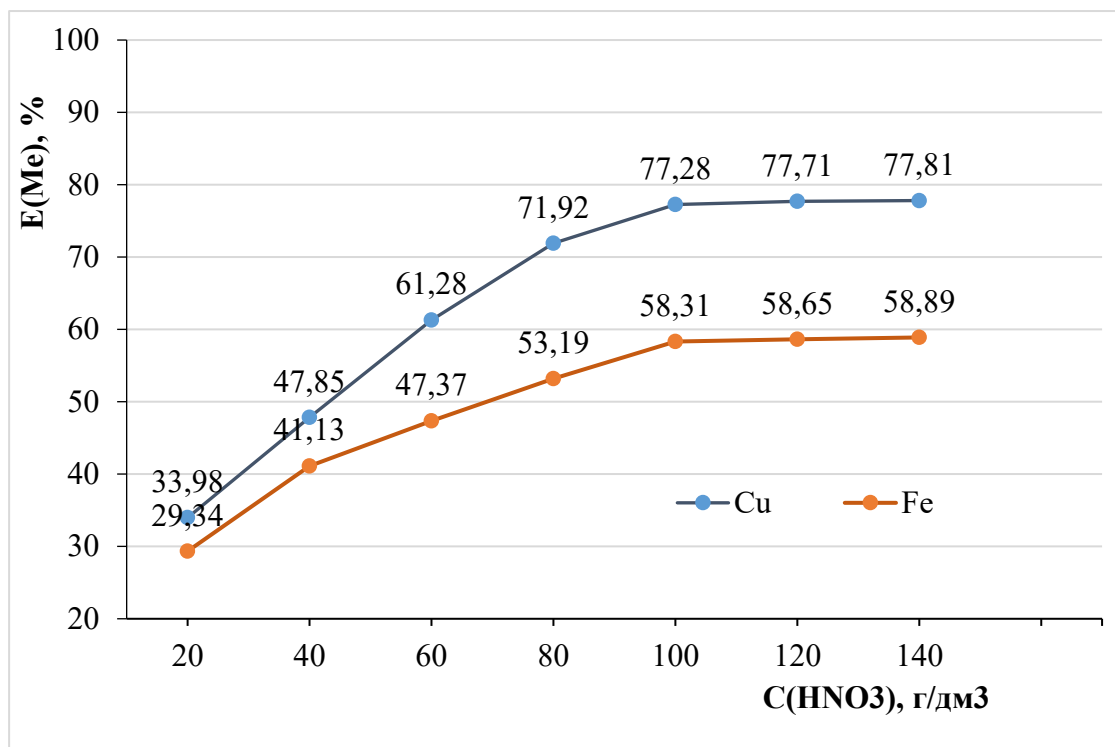
## 2.4 Кедей концентраттан мысты бөліп алу эксперименттері

Төмен сортты концентратты шаймалаудың оптималды концентрациясын анықтау үшін біз азот қышқылдарының ерітіндісімен келесі жағдайларда эксперименттер жүргіздік: азот қышқылының концентрациясы (г/дм<sup>3</sup>) – 20-140; шаймалау уақыты (τ) – 60 мин; Т:Ж – 1: 3 қатынасы. Нәтижелер көрсеткендей, азот қышқылының концентрациясы 20 бастап 100 г/ дм<sup>3</sup> дейін көтерілген соң мыс пен темір иондарының ерітіндісіне экстракция екі есеге жуық артады және 77,58 % (Cu) және 58,31 % (Fe) құрайды. Шаймалау реагентінің оптималды концентрациясы 100 г/дм<sup>3</sup> болып саналады (5-кесте).

Кесте 5 – Металдардың ерітіндіге бөліну дәрежесінің қышқыл концентрациясына (HNO<sub>3</sub>) тәуелділігін зерттеу эксперименттерінің нәтижелері

| $C_{HNO_3}$ , г/дм <sup>3</sup> | $m_{Cu \text{ p-p}}$ , г | $E_{Cu}$ , % | $m_{Fe \text{ p-p}}$ , г | $E_{Fe}$ , % |
|---------------------------------|--------------------------|--------------|--------------------------|--------------|
| 20                              | 1,28                     | 33,98        | 0,637                    | 29,34        |
| 40                              | 1,80                     | 47,85        | 0,893                    | 41,13        |
| 60                              | 2,30                     | 61,28        | 1,028                    | 47,37        |
| 80                              | 2,70                     | 71,92        | 1,155                    | 53,19        |
| 100                             | 2,923                    | 77,58        | 1,266                    | 58,31        |
| 120                             | 2,928                    | 77,71        | 1,273                    | 58,65        |
| 140                             | 2,931                    | 77,81        | 1,279                    | 58,89        |

Кеннің химиялық талдауын жасау нәтижесінде, мыспен қатар концентраттың құрамында асыл металдар, соның ішінде алтын, күміс, сирек металдар, рений және тағы басқа металдар бары анықталды. Олардың мөлшері салыстырмалы алғанда төмен және диплом жұмысында олардың шаймалануы қарастырылған жоқ.



6 - сурет – Металдардың ерітіндіге бөліну дәрежесінің қышқыл концентрациясына (HNO<sub>3</sub>) тәуелділігі

*Мысты шаймалауға температураның әсер етуі*

Жалпы шаймалау процесіне көптеген параметрлердің ішінде температураның жоғарылауы металдардың еру процесін тездететіні және осылайша оның процестің тиімділігі артатыны белгілі [27].

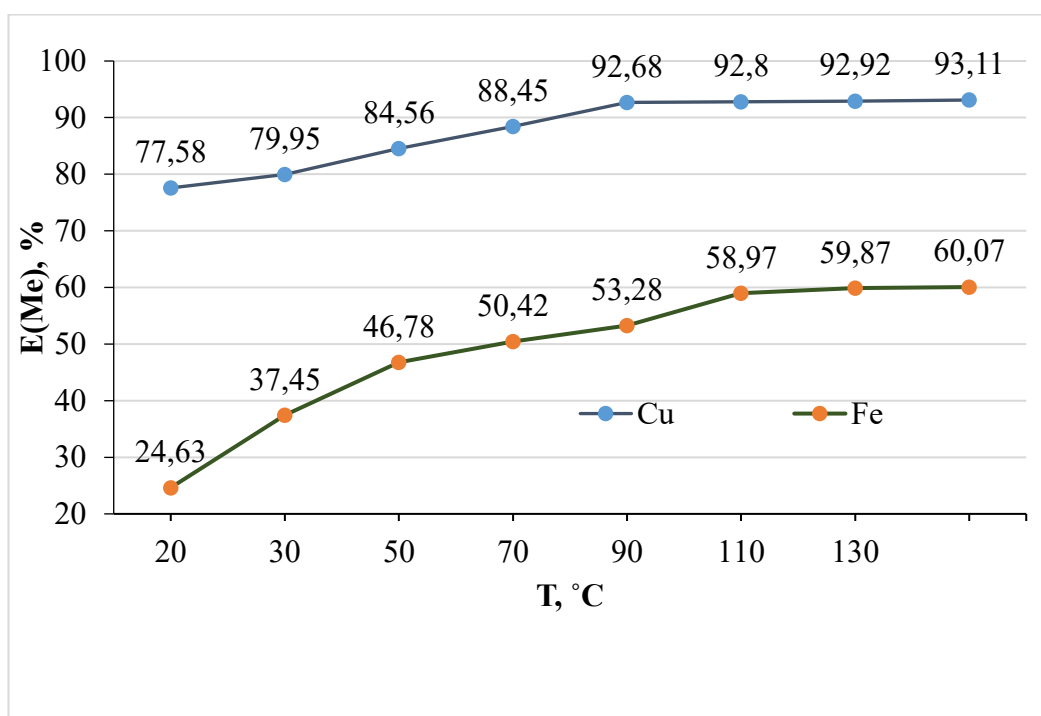
Кесте 6 – Мысты шаймалауға температураның әсер етуін зерттеу эксперименттерінің нәтижелері

| T, °C | m <sub>Cu p-p</sub> , Г | E <sub>Cu</sub> , % | m <sub>Fe p-p</sub> , Г | E <sub>Fe</sub> , % |
|-------|-------------------------|---------------------|-------------------------|---------------------|
| 20    | 2,917                   | 77,58               | 0,535                   | 24,63               |
| 30    | 3,006                   | 79,95               | 0,813                   | 37,45               |
| 50    | 3,179                   | 84,56               | 1,016                   | 46,78               |
| 70    | 3,326                   | 88,45               | 1,095                   | 50,42               |
| 90    | 3,485                   | 92,68               | 1,222                   | 53,28               |
| 110   | 3,489                   | 92,8                | 1,281                   | 58,97               |
| 130   | 3,494                   | 92,92               | 1,300                   | 59,87               |

Концентраттан мыстың шаймалау дәрежесіне температураның әсерін зерттеу бойынша эксперименттер келесі жағдайларда жүргізілді: қышқыл концентрациясы - 100 г/дм<sup>3</sup>, Т:Ж қатынасы – 1:3,

шаймалау уақыты – 60 минут. Алынған эксперименттік деректер 6-кестеде келтірілген.

Эксперименттік деректер температураның 20 °С бастап 90 °С дейін жоғарылауымен мыс экстракциясының дәрежесі 92,68 тен 92,92 °С дейін, темірдің 24,63 тен 53,28 °С дейін көтерілетінін көрсетеді. Концентраттан мысты шаймалаудың тиімді температурасы 90 °С болып табылды. Концентратты шаймалау температурасы 90 бастап 130 °С дейін арттырғанда мыстың шаймалану дәрежесі тек 92,68 тен 92,92 %, яғни тиімді температураны 40°С арттырғанда 0,24 % ғана өзгерді. Сондықтан мысты кедей концентраттан шаймалаудың тиімді температурасы ретінде 90 °С таңдап алынды.



7 - сурет – Мысты шаймалауға температураның әсер етуінің температураға тәуелділігі

*Мысты бөліп алуға шаймалау ұзақтығының әсер етуі*

Шаймалау процесіне температура, қышқыл концентрациясы және т.б. параметрлермен қатар шаймалау ұзақтығы маңызды әсерін тигізеді.

Кедей мыс концентратын шаймалау кезіндегі металдардың ерітіндіге бөліну дәрежесінің уақытқа тәуелділігі 15-120 минут аралығында жүргізілді.

Эксперимент нәтижелері 7-кестеде келтірілген.

Кесте 7 – Мысты бөліп алуға шаймалау ұзақтығының әсер етуін зерттеу эксперименттерінің нәтижелері

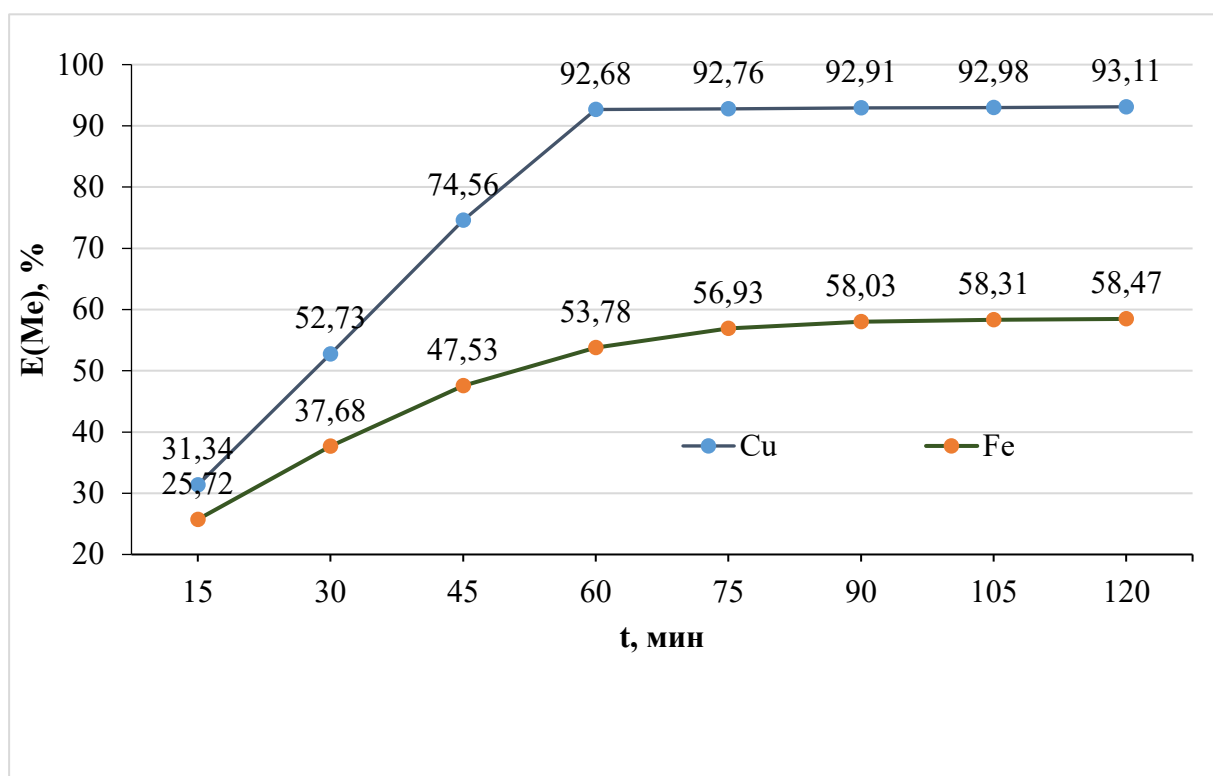
| T, мин | $m_{Cu\ p-p}, \Gamma$ | $E_{Cu}, \%$ | $m_{Fe\ p-p}, \Gamma$ | $E_{Fe}, \%$ |
|--------|-----------------------|--------------|-----------------------|--------------|
| 15     | 1,178                 | 31,34        | 0,558                 | 25,72        |
| 30     | 1,983                 | 52,73        | 0,818                 | 37,68        |
| 45     | 2,803                 | 74,56        | 1,032                 | 47,53        |
| 60     | 3,485                 | 92,68        | 1,168                 | 53,78        |
| 75     | 3,488                 | 92,76        | 1,236                 | 56,93        |
| 90     | 3,493                 | 92,91        | 1,26                  | 58,03        |
| 105    | 3,496                 | 92,98        | 1,266                 | 58,31        |
| 120    | 3,501                 | 93,11        | 1,269                 | 58,47        |

Кестеден көретіміздей, шаймалау ұзақтығының 15 минуттан 120 минутқа дейін созылғанымен екі металдың да бөліну дәрежесі жоғарылайтыны анықталды (мыс үшін 31,34-ден 93,11 % - ға дейін, темір үшін 25,72-дан 58,47 % дейін).

Шаймалау уақыты 60 минуттан 120 минут аралығында қатты өзгеріске ұшырамады 60 минуттың ішінде 92,68-ден 93,11% яғни бұл жерде тиімді уақытты арттырғанда 0,43 % өзгерді.

Шаймалау ұзақтығының одан әрі артуы металдардың экстракцияларының жоғарылауына әкелмеді.

Металдардың, мыс және темірдің, шаймалау уақытына тәуелді ерітіндіге бөліну дәрежелері графиктік түрде төменде келтірілген (8-сурет).



8 - сурет – Металдарды алудың шаймалау ұзақтығына тәуелділігі

$E-f(t)$  тәуелділік графигінен көретініміздей, шаймалау уақыты 15 минуттан 60 минутқа дейін жоғарылаған кезде, мыстың сызықты түрде бөліну дәрежесі жоғарылағаны байқалады, әрі қарай шаймалау уақыты 60 минуттан 120 дейін көтірілген кезде мыстың бөліну дәрежесі 92,68-ден 93,11 %, яғни осы аралықта мыстың шаймалану дәрежесі 0,43 % өзгерді, ал темірдің шаймалау дәрежесін қарастыратын болсақ, темірдің ерітіндіде бөлу дәрежесі 15 минуттан 90 минутқа дейін артты, шаймалау уақыты ары қарай көбейгенімен металдың ерітіндіге бөліну дәрежесі аса қатты артпады 90 минутта 58,03 % 120 минутта 58,47 %, яғни 30 минутта 0,44 % өзгерді.



9 - сурет – Кедей концентратты өңдеу технологиясы

*Эксперименттік бөлім бойынша қорытынды*

Эксперименттерді жүргізу үшін бастапқы кедей концентрат құрамы физика-химиялық әдістермен зерттелді. Кедей концентрат негізінен сульфидті минералдардан тұратындығы, мыстың мөлшері 7,20 % болатындығы анықталды.

Термодинамикалық талдау бойынша тиімді шаймалаушы реагент ретінде азот қышқылы таңдап алынды.

Кедей концентратты азот қышқылымен шаймалаудың тиімді параметрлері анықталды олар: температура, ұзақтық, қышқылдың концентрациясы т.б.

Мыстың бөліну дәрежесі 92,68 % болды.

### 3 Экономикалық бөлім

#### 3.1 Зерттеу жұмысын жүргізуге жұмсалған шығындарды есептеу

Зерттеу жұмысы барысында барлығы 113 тәжірибе жүргізілді. Түсті металдарды бөліп алуда, экологиялық және экономикалық жағынан ең тиімді болып табылатын – гидрометаллургия процестері екені бұрыннан белгілі. Мыс кендерін бөліп алуда шаймалау процесі тиімді болып табылады. Бастапқы уақытта әрі арзан, жеңіл қол жеткізерлік қышқылдарды қолдану қарастырылған.

Шаймалау процесі жалпы экономикалық тиімді процес болып табылады. Негізгі және қосалқы жабдықтары қол жетімді бағада.

Тәжірибе жүргізуге арналған негізгі және қосымша материалдар шығынының есептеу нәтижелері төмендегі кестеде келтірілген.

Кесте 8 – Негізгі және қосалқы материалдар шығыны

| Материалдар атауы      | Материал шығыны | Бірлік бағасы, тг | Жалпы бағасы, тг |
|------------------------|-----------------|-------------------|------------------|
| Мыс кені, кг           | 2               | 2000              | 4000             |
| Азот қышқылы, л        | 1,5             | 900               | 1350             |
| Күкірт қышқылы         | 0,5             | 500               | 250              |
| Дистилденген су, л     | 100             | 45                | 4500             |
| Калий йодиді           | 0,5             | 600               | 300              |
| Натрий тиосульфаты     | 3               | 900               | 2700             |
| Натрий гидроксиді      | 2               | 1000              | 2000             |
| Крахмал                | 1,0             | 500               | 400              |
| Аммиак                 | 2               | 800               | 1600             |
| Фильтр қағазы, бума    | 1,0             | 900               | 700              |
| Индикатор қағазы, бума | 1,0             | 450               | 450              |
| Барлығы                |                 |                   | 18450            |

Негізгі және қосалқы материалдардың шығыны 113 тәжірибеге есептелген. Сонда, 1 айға кететін негізгі және қосалқы материалдар шығыны 18450 теңгені құрайды.

#### 3.2 Ғылыми-зерттеу жұмысының жинақ қорын есептеу

Жинақ қоры (А) келесі теңдеумен есептелінеді:

$$A = C_{п} \cdot I_0 \cdot 0,33,$$



мұндағы  $C_{п}$  – жабдықтың бастапқы бағасы, 0,33-ке көбейтілген.

$$I_0 = 1,082 \text{ тең, индексация.}$$

Сонымен, 1 айға құраған жинақ қорының соммасы:

$$A = 18450 \cdot 1,082 \cdot 0,33 = 18160,677 \text{ тг}$$

Сонда бір жылдық жинақ қорының ( $A_1$ ) сомасы мына теңдеумен анықталады:

$$A_1 = C_{п} \cdot I_0 \cdot 0,33 \cdot (1 + e)^1,$$

мұндағы  $e$  – тиімділік коэффициенті, ол 0,1 тең:

$$A = 18450 \cdot 1,082 \cdot 0,33 \cdot (1 + 0,1)^1 = 19976,7447 \text{ тг}$$

Жобаның құны ( $B$ ) келесі теңдеумен есептелінеді:

$$B = A_1 + A$$

Сонымен, жобаның құны:

$$B = 19976,7447 + 18160,677 = 38137,4217 \text{ тг.}$$

## 4 Қауіпсіздік және еңбек қорғау

### 4.1 Жалпы сипаттамасы

Қауіпсіздік техникасы мен санитарлық қажетті шаралар зертхана меңгерушісі міндеті бойынша жүзеге асырылады. Зертхана меңгерушісі кәсіпорында еңбекті қорғаудың толығымен жауаптылары болып келеді. Еңбекті қорғау бөлімі қауіпсіздік еңбек шараларында жүйелік бақылауды жүзеге асырады және зақым мен апаттан сақтандырады.

Әрбір студент лаборатория ішінде еңбекті қорғау ережесін ұстауға міндетті, жұмысқа арнайы киімде және жақсы демалған күйде арнайы сақтандыру құралдарымен кірісуі керек. Киім және тағы да басқа арнайы қорғағыш құралдары дұрыс күйде болуы тиісті. Жұмыс уақыты басталғанға дейін жұмыскер жұмыс орнының қауіпсіздігін, сақтау құралдарын, құралсаймандарын, жұмыс істеу қабілеттілігі мен механизмдерін тексеріп алуы керек. Студенттің шашы бас киім астында болуы керек.

Зертханада адамның денсаулығы мен жұмыс істеу қабілетіне ықпал етуші факторларға жататындар:

- өндірістік микроклимат – ауаның температурасының, ылғалдығының және жылдамдығының ұштасуы, сонымен қатар жылулық сәулелену;

- ауаның химиялық құрамымен және атмосфералық қысыммен сипатталатын ауалық орта;

- өндірістік көздерден туатын сәулелену (иондаушы және иондамаушы), энергетикалық өріс (электромагниттік, гравитациялық және тағы басқа), акустикалық және дірілді тербелістер.

Қарастырылып отырған бұл жұмысты орындау кезінде техника қауіпсіздігін сақтамаған жағдайда өндірістік жарақат алу мүмкіндігі болады. Ең қауіпті және зиянды болатын жағдай:

- жабдықтарға химиялық активті орта әсері мүмкіндігінен туындайтын, жоғары қауіптіліктің салдарынан электр тогынан түсіп қалу .

- жоғарыда айтылғандармен байланысты кейбір қолайсыз факторларды атап айту қажет:

- Қышқылдар және сілтілер ерітінділерімен дұрыс жұмыс істемеген кезде терінің және дем алу жолдарының күйіп қалуы [24].

Жылжыту, вентиляция, жарықтандыру, электржабдықтары, сумен жабдықтандыру мен канализация, жабдықтар мен жұмыс орнын жоспарлау, тасымалдау, сақтандыру құрылғысы, жеке қорғау құралдары мен арнайы киімдері қауіпсіздік ережелер мен өндірістік санитариядағы кіреді.

Қауіпсіздік ережелеріне қажетті техникалық нормативтер, сонымен қатар технологиялық процестерді өткізетін және эксплуатациялық жабдықтардың қауіпсіздігін қамтамасыз ететін, қызметкерлерді жұмысқа кіргізу шарты мен ұйымдардағы жұмыс қауіпсіздігінің талаптары кіреді.

Қауіпсіздік техникасы жөніндегі ереже әр мамандықтың жұмыс істеу қауіпсіздігімен лабораторияда берілген ерекшеліктеріне сай жабдықтардың әртүрлі болуынан жасалады.

Уақытша қауіпті учаскелер мен жерлерге уақытша немесе лак және бояу материал түстерімен боялған сигналдар, тасымалдаушы белгілер қойылады.

Ағындық қауіпсіздік ережесі жұмыскерлердің жұмыс уақыты басталғанға дейін жүргізіледі, онда рұқсат етілген нарядтар дайындалады, нарядта қауіпсіздік ережесін өткізу белгіленген.

Еңбек қауіпсіздігін қамтамасыз ету, қауіпсіз техника мен технологияны дамыту, яғни потенциалды қауіпті және зиянды өндірістік факторларды болдырмаудың алдын алу. Сонымен қатар адамдардың бұрыс іс-әрекеттерін, соның ішінде еңбек қауіпсіздігінің ережелері мен инструкцияларын сақтамауына байланысты әрекеттерді болдырмау керек. Күнделікті көріп жүргендей, көптеген жағдайда мұндай әрекеттер жарақаттанудың себебі болып табылады және істерді болдырмау нәтижесінде көптеген авариялар мен бақытсыз жағдайлардан құтылуға болады.

Азот қышқылды шаймалау кезінде адам ағзасына зиян тимес үшін:

- респиратор;
- резіңке қолғаптар;
- арнайы зертханалық көзілдірік;
- зертханалық халат киіліп, эксперименттер вентиляциялық шкафта жүргізілуі қажет.

Экономикалық жағынан алғанда азот қышқылды шаймалау кедей мыс концентратын азот қышқылымен шаймалап өңдеу пирометаллургиялық технологиямен салыстырғанда әлде қайда тиімді болып табылады.

## **4.2 Кәсіпорында электр және өрт қауіпсіздігі**

Электр тоғымен зақымдалудан қорғану іс-шараларын, электр желілерінде қысқа тұйықталудың нәтижесінде жарылыс пен өрттердің пайда болуынан қорғаныс (арнайы орындалған электр қондырғыларын пайдалану; қауіпсіз кернеулік, оларды қолмен ұстап қалудан жеткіліксіз жерге орналастыру; блоктауды, ескерту дабылдарын қолдану; қорғаныстық жерсіндіру мен өшіп қалуды; жеке қорғаныс құралдарын пайдалану тағы сол сияқты).

Өрт жабдықтардың ақауларынан, технологиялық процестердің бұзылуынан, персоналдың ұқыпсыздығынан пайда болу мүмкін. Жұмыс барысындағы ұйымдастыру шараларына:

- ашық отпен қолдану;
- шылым шегуді шектеу;
- бөлмедегі мүлік адамдарды эвакуациялау жоспарын жасау;
- өрт қауіпсіздігі туралы студенттермен персоналдарды оқыту жатады.

Өрттен қорғау үшін технологиялық жағдайларда, арнайы автоматикалық құрылғылар қажет. Автоматикалық жұмыстар жүргізіліп жатқан пара - метрлерді

берілген деңгейде ұстап отырады, қауіп төнген жағдайда агрегаттар жұмысын тоқтатады. Өрттің тез аластату шараларына, арнайы залдар мен ғимарат подъездері қарастырылады, өртке төзімді баспалдақтар, дабылдағыштармен, су құбырлары орнатылу қажет.

Электр тоғынан қорғану үшін электр желілерінде қысқа ақау нәтижесінде жарылыс пен өрттердің пайда болуынан қорғаныс (арнайы орындалған электр қондырғыларын пайдалану; оларды қолмен ұстап қалудан жеткіліксіз жерге орналастыру; блоктауды, ескерту дабылдарын қолдану; қорғаныстық жерсіндіру мен өшіп қалуды; жеке қорғаныс құралдарын пайдалану тағы сол сияқты).

Техникалық инспектордың міндеті еңбек қауіпсіздіктің стандарттар жүйесінің талаптары орындалуын қадағалауы болып табылады. Еңбек ережесіне сәйкес, еңбекті қорғау ережелерін бұзған қызметтегі жұмысшылар, материалдық, дисциплинарлық, әкімшілік және қылмысты жауапкершілікті өз мойнына алады. Жарақаттану анализі әдістерін, олардың артықшылықтары мен кемшіліктерін білу қажетті, сондай-ақ ақпаратты өңдеу мен тіркеудің, жинаудың кәсіби аурулар мен жарақаттанудың қазіргі кездегі әдістерін білген жөн. Бақытсыз жағдайлар мен апаттардың көп болуы адамдардың теріс іс – әрекеттері және жөндеу жұмыстардың бұрыс ұйымдастырылуы және дайындық уақытының жүргізілмеуінен болады. Химиялық және мұнай–химиялық кәсіпорындарда аппараттар мен құбырларды тазарту мен жөндеуге әкелетін процесі кезінде, сондай-ақ жарылуға жақын, қауіпті шаңдарды өңдегенде, жанғыш сұйықтар сығылу кезінде т.с.с., үрлеу үшін көп жағдайда азот қолданылады. Азотты – инертті газ деп жиі айтады. Зертханаларды дайындаудың санитарлық нормалары, жұмыс жеріндегі ауадағы газдардың, булардың, шаңның, аэрозолдердің шекті жіберілетін концентрациясы түріндегі гигиеналық нормаларын бекітеді [25].

Өндірістік процестердің өрт қауіпсіздігі және еңбекті қорғауды қамтамасыз ету функциялары: өнеркәсіптік объект аумағында ашық от ошағының пайда болу ықтималдығын барынша азайту; жұмыс істейтін адамдар үшін өрт қауіпсіздігінің жоғары деңгейіне кепілдік беру; кәсіпорынның негізгі қорларын, шығарылған өнімдерді, шикізат пен материалдар қорын өрттен қорғау.

Өрт қауіпсіздігін реттейтін нормативтік құжаттарға сәйкес өнеркәсіптік өндірісте жануға әкелетін қайталама факторларды ескеру қажет. Олардың ішінде келесі себептер бар: өндірістік механизмдердің бөліктері мен тораптарының бұзылу жағдайлары; өндірістік үй-жайлар атмосферасының жарылыс немесе өздігінен тұтану тудыруға қабілетті заттармен ластануы, олардың көзі зақымдалған технологиялық жабдық немесе өндірісте пайдаланылатын заттарды сақтауға арналған ыдыстар; электр сымдарының жеткіліксіз оқшаулануына байланысты қондырғының өткізгіш электр тоғындағы кернеудің жоғарылауы; қызметкерлердің жабдыққа немқұрайлы қарауы.

### **4.3 Желдету және жылытуға қойылатын талаптар**

Жылыту өндірістік ғимараттарға қойылатын талаптар СНЖЕ бөлімдерінің қажеттіліктерімен сәйкес ауаны желдету және кондиционерлеу МЕСТ “ССБТ жалпы санитарлық – гигиеналық” талаптарға сай болуы қажет. Технологиялық мақсаттар үшін қысқы уақытта, ауа перделерін сыртқы ауаның ағынымен ұйымдастыру қажет. Әрбір қабаттың желдетуі зиянды заттардың бөліну есебімен жүргізілуі қажет. Ерітіндісі және электролиті бар ыдыстар жергілікті тартпалы механикалық желдеткішпен қамтамасыз етілуі қажет. Бөлінетін ауаның көлемі технологиялық нормалар бойынша анықталуы қажет. Жұмыстық ойықтарда оның жылдамдығы келесі нормалардан аспауы қажет:

- күкіртті және азотты газдың бөлінуі кезінде – 1,5 м/с;
- күкірт қышқылы және аэрозольді ерітінділердің бөлінуі кезінде – 1,5 м/с.

### **4.4 Жазатайым оқиғалардан сақтандыру шаралары**

Еңбек және өндірістік процестердің, организмге бірден зиян келтіретін, оңтайсыз факторларды өндірістік қауіптер деп атайды. Өндірістік жағдайда кейбір факторлардың тұрақты немесе ұзақ уақыт жұмыскерлердің денсаулығына әсер ететін жағдайы болуы мүмкін, және де бұл ықпалдың нәтижесі бірден білінбейді, ал бірнеше уақыттан соң ғана айқындалады. Кәсіптік зияндардан организмге әсер ету нәтижесінде пайда болған денсаулықтың бұзылуы кәсіптік аурулар деп аталады.

Өндірістік қауіптер мен кәсіптік зияндар келесідей жағдайларда пайда болады:

- машиналар мен механизмдердің қозғалыстағы бөлшектерімен, көлік құралдарымен;
- электр тогімен;
- оңтайсыз метеорологиялық жағдайлармен (ыңғайсыз температурамен және ауа ылғалдығымен, желдетумен, қалыпсыз атмосфералық қысыммен);
- қыздырылған жабдықтармен және материалдармен, жалынмен;
- жылулық, ультракүлгін, иондаушы және иондаушы емес сәулелермен, электромагниттік өріспен, көз ашқызбас жарықпен;
- ауаның зиянды заттармен ластануынан;
- шуммен және сілкініспен, ультрадыбыспен;
- жанатын және жарылатын материалдармен және заттармен;

Еңбек жағдайын тексеру және бағалау үшін зерттеу мен сынақтың техникалық әдістері қолданылады. Оларға жататындар: әртүрлі талдағыштар көмегімен ауадағы қажетсіз қоспаларды, температураның өзгерісін, ылғалдылықты, ауаның қозғалу жылдамдығын анықтау.

Бұл зерттеу үшін қолданылатын аппаратура әр түрлі. Зерттеудің көптеген әдістері Мемлекеттік стандарттармен регламенттеледі.

Еңбек жағдайын жан-жақты талдау, жарақаттану мен аурудың пайда болу мүмкіндігін жоятын жабдықтар конструкциясы және технологиялық процестер мен еңбекті ұйымдастыру сипаты бойынша ұсыныстар беруге мүмкіндік береді.

Өндірістің қауіпсіз және еңбек жағдайларын жасаудағы айтылған жұмыстарын талдау үшін баршаға бірдей өндіріске байланысты болған бақытсыз жағдайлар кәсіби ауруларды жапа шеккендер үшін берілетін есептің тәртібі бар. Сол тәртіпке байланысты әрбір денсаулық сақтау орындары жылына бір рет өзінің басшылық органдарына статистика басқармасы болған бақытсыз жағдайлар мен кәсіби аурулардың қанша рет болғанын абсолют саны туралы мәліметтер беріп отыр.

Жарақаттану факторларының негізгі түрлері:

- машина, механизмдер, құралдар, қосымша құралдар;
- транспорт жабдықтары, автотранспорт, жүк көтеруші қондырғылар;
- құлаған, жарылған, ұшқан заттар және олардың жарықшалары;
- ғимараттардың немесе оның бөліктерінің құлауы; адамның биіктен құлауы;
- электр тоғы;
- термиялық фактор (күйік);
- заттар, жүктер қозғалыста болуы;
- уланған заттар;
- суға бату.

#### **4.5 Еңбек қорғаудағы өндірістік тазалық шаралары**

Уландыратын заттарды, олардың зиянды әсерін төмендету мақсатында, жою үшін санитарлық шаралар қолданылады. Олар: дезактивация, дегазация және киім, аяқ киім, жеке тұлғалық қорғану құралдарының дезинфекциясы.

Санитарлық реттеу – улы заттарды, токсиндерді, адамдардың тері қабатынан, киілген жеке тұлғалық қорғаныс құралдарынан, киімнен және аяқ киімнен алып тастау. Дезактивация – жұғылған қабаттан улы заттарды алып тастау.

Дезактивация үшін арнайы ерітінділер, стерильді ұнтақтардың су ерітінділері, қарапайым су және еріткіштер (бензин, керосин, дизельдік отын) қолданылады.

Дегазация – уландыратын заттарды жою немесе оларды химиялық бұзу. Дегазация жеке тұлғалық қорғаныс құралдарын, киімді және аяқ киімді қайнату, проаммиак қосындысымен тазалау, жуу, желдету болып табылады.

Дезинфекция – токсиндерді жою және уландыратын заттарды бұзу. Дезинфекция булы ауа қоспасымен, қайнатумен, дезинфекциялайтын ерітінділерге салып қоюмен, жуумен жүзеге асады.

Зертханаларды жобалаудың санитарлық нормалары, жұмыс аумағындағы ауадағы газдардың, булардың, шаңның, аэрозолдердің шекті жіберілетін концентрациясы түріндегі гигиеналық нормативтерін бекітеді [26].

## ҚОРЫТЫНДЫ

Мыс қазіргі кезде, ғылым мен техникаға қажетті ең маңызды түсті металдардың бірі себебі, оның электр өткізгіштік қасиеті өте жоғары және де оған деген сұраныс әлем бойынша артып, өндірілу көлемі әлі күнге дейін артып жатыр.

Қазақстандағы бай концентраттар негізінен пираметаллургиялық технологиямен өндірілгенімен соңғы жылдары кеннің сарқылуына байланысты кедей концентраттар алынуда және оларды өңдеу үшін гидрометаллургиялық технология қолданылуда.

Соңғы уақытта мысты гидрометаллургиямен өңдеу технологиясы қарқынды дамуда ол мыс негізінен (solvent extraction- еріткіш экстракция) (electrowinning- электролиз) технологиясымен өңделеді және кедей концентраттарды шаймалау және одан арықарай мысты бөліп алу сұйықтық экстракция, электролиз процестерін қолдануға болады. Бұл технологияны қазіргі кезде отандық тотыққан мыс кен орындарында кеңінен қолданады, ал кедей концентраттар үшін енді ғана қолға алынуда. Сондықтан кедей концентраттарды өңдеудің гидрометаллургиялық технологиясын жасау, соның ішінде тиімді шаймалаушы реагентті таңдау және шаймалау жағдайларын жете зерттеу қазіргі күнгі өзекті мәселелер болып табылады.

Диплом жұмысының мақсаты – кедей мыс концентраттарынан мысты бөліп алуды зерттеу.

Кедей концентрат алдымен физика-химиялық талдау әдістерімен зерттелді, нәтижесінде концентраттың құрамында: халькопирит, халькозин, борнит, пирит, гематит, кварц минералдарының бары анықталды.

Тиімді шаймалаушы еріткішті таңдау мақсатымен кедей концентраттағы мыс минералдарының азот және күкірт қышқылдарымен өзара әрекеттесу мүмкіндігіне термодинамикалық талдау жасалды. Мүмкін болатын реакцияларының әртүрлі температуралардағы термодинамикалық көрсеткіштері, яғни стандартты Гиббс энергияларының мәндері, реакциялардың тепе-теңдік константалары есептелді, соның нәтижесінде шаймалаушы реагент ретінде азот қышқылы таңдап алынды. Азотқышқылды шаймалау кезінде мыс катион  $\text{Cu}^{2+}$  түрінде ерітіндіге жоғары потенциалдар облысында, яғни 33,98-77,81 мВ аралығында және қышқылды ортада, рН 0-4 аралығында бөлінеді.

Шаймалау эксперименттерін жүргізу нәтижесінде кедей мыс кендерін шаймалаудың тиімді параметрлер анықталды құрамында мыс пен темірдің сульфидті минералдары бар мыс шикізатын азот қышқылы ерітіндісімен шаймалау тиімді екендігі анықталды. Оптималды жағдайларда:

- температура 90 °С;
- қышқыл концентрациясы – 100 г / дм<sup>3</sup>;
- шаймалау ұзақтығы – 90 минут, болғанда ерітіндіге металдардың бөліну көрсеткіштері максималды болды: мыс – 92,68 %; темір – 53,78 %.

## ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- 1 Уткин Н.И. Учебник для техникумов. Metallургия цветных металлов. М: Metallургия, 1985, – 440 с.
- 2 Чугаева Л.В. Metallургия благородных металлов. Учебник/ под общей ред. Л.В. Чугаева. – Москва: Metallургия, 1987. – 190 с.
- 3 Метрофанов С.И. Переработка окисленных медных руд по методу профессора В.Я. Мостовича. – М., ЦИИН Metallургидзат, 1956, - 28 с.
- 4 Комплексная переработка минерального сырья Казахстана. Состояние, проблемы, решения. Монография в 10 томах. Т. 2: Жарменов А.А., Еремин Ю.П., Загайнов В.Г., Ниязов А.А. и другие. Теория и технология обогащения природного и техногенного минерального сырья. – Алматы, 2006, РГП «НЦ КПМС РК», – 462 с.
- 5 Загайнов В.Г. Увеличение минерально-сырьевых ресурсов меди за счет развития технологий извлечения окисленных разновидностей металла. // Горный журнал Казахстана №№ 2-5, - 16 с.
- 6 Медное производство Казахстана. Монография – Алматы: Изд-во «DPS», 2010, – 472 с.
- 7 Вольдмин Г.М., Зеликман А.Н. Теория гидрометаллургических процессов М: Наука, 2003, - 463 с.
- 8 В.Р. Palmer, М.С. Fuerstenau, in Hydrometallurgy Fundamentals, Technology and Innovations, J.B. Hiskey, G.W. Warren (Eds), Society for Mining, Metallurgy and Extraction, USA, 1993, chapter 53.
- 9 Теляков Н.М. Изучение воздействия бактериального раствора на сульфидные-молибденовые руды / Н.М. Теляков, С.Н. Салтыкова, М. Пурэвдаш // Записки Горного института. 2011. Т.192. - С. 54-57.
- 10 Жагов В.С., Шерегада З.В. Metallургия меди, никеля и кобальта, 2010.
- 11 Шейн Я.П., Гудима Н.В. Краткий справочник металлурга по цветным металлам. М.: Metallургия, 1964. - 412 с.
- 12 Агаркова Г.А. Выщелачивание медных окисленных минералов, характерных для месторождений СССР // Цветные металлы. – 1950. № 1. – С. 35 – 41 с.
- 13 Паплаухин А.Б., Худяков М.Ф., Халезов Б.Д., Абакумов В.В. Перспективы использования гидрометаллургических процессов в металлургии меди // Цветные металлы. - 1986. № 4.- С. 20 - 23. 160
- 14 Лебедева К.В. Охрана труда и техника безопасности на производстве. – М.: Эконадзор, 1958. – 307 с.
- 15 Қауіпсіздік және еңбек қорғау шаралары, Муканов Т., Досмухамедов А.Н.
- 16 Вольдман Г.М., Зеликман А.Н. Теория гидрометаллургических процессов. М.: Наука, 2003. - 463 с.
- 17 Паплаухин А.Б., Худяков М.Ф., Халезов Б.Д., Абакумов В.В. Перспективы использования гидрометаллургических процессов в металлургии меди. - М.: цветные металлы. - 1986. №4. - С. 20 - 23.



18 Крейн Ф. Экстракция в гидрометаллургии меди: Развитие и современное состояние // Комплексное использование минерального сырья. 2004. - №2. С. 36 - 55.

19 Паплаухин А.Б., Худяков М.Ф., Халезов Б.Д., Абакумов В.В. Перспективы использования гидрометаллургических процессов в металлургии меди // Цветные металлы. - 1986. - №4.- С. 20 - 23. 160

20 Агаркова Г.А. Выщелачивание медных окисленных минералов, характерных для месторождений СССР // Цветные металлы. – 1950. - № 1. С. 35 – 41 с.

21 Меретуков М.А. Процессы жидкостной экстракции и ионообменной сорбции в цветной металлургии. – М.: Металлургия,1978; Муканов Д. Металлургия Казахстана: состояние, инновационный потенциал, тренд развития. Алматы, 2005. - 290 с.

22 Борбат В.Ф., Лещ И.Ю. новые процессы в металлургии никеля и кобальта. М.: Металлургия, 1976. - 197 с.

23 ҚР ҚНЖЕ 2.04 – 05 - 2002

24 Дытнерский Ю. И. Процессы и аппараты химической технологий. М.: Химия, 1995.

25 Шокобаев Т.Д. Повышение эффективности микроэкономики цветной металлургии. / Учебное пособие. – Алматы: РИК,1993. – 46 - 57 с.

26 Макаров Г.В. Охрана труда в химической промышленности. – М.: Химия, 1977. 56 с.

27 Теория гидрометаллургических процессов: учебное пособие/О.Ю. Маковская, О.Б. Колмачихина, В.Г. Лобанов, С.Э. Польшгалов; под общ. ред. канд. техн. наук, доц. О.Ю. Маковской; М-во науки и высшего образования РФ. Екатеринбург: Изд-во Урал. унта, 2022.– 152 с.

28 Лебедева М.И. Аналитическая химия: учебное пособие / М.И. Лебедева. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2008. – 160 с.