

**СЕЙСЕМБАЕВ РУСЛАН СЕРИКОВИЧТІҢ**  
6D070900 - «Металлургия» мамандығы бойынша  
философия докторы (PhD) дәрежесін алу үшін ұсынылған  
**«ҚПС- ПРОЦЕСІНІҢ КОЛЛЕКТОРЛЫ ШТЕЙНДЕРІНЕН ТҮСТІ**  
**ЖӘНЕ АСЫЛ МЕТАЛДАРДЫ АЛУ ТЕХНОЛОГИЯСЫН ЖАСАУ»**  
тақырыбындағы диссертациялық жұмысының  
**АҢДАТПАСЫ**

**Зерттеудің өзектілігі.**

Қазақстанда түсті металлургияны дамытудың ең өзекті проблемаларының ішінде алтын өндірісі ерекше маңызға ие. Қазіргі уақытта Қазақстандағы алтын өндіру саласының сандық және сапалық көрсеткіштері біздің мемлекетіміздің қажеттіліктерін қанағаттандырмайды. Металдың шектеулі дәлелденген қорлары, ескі, жетілмеген, өнімділігі төмен, көп операциялы және экологиялық қауіпті технологияларды алтын өндіретін негізгі кәсіпорындарда құрамында алтын бар кендерді өндіру, қайта өңдеу және металлургиялық өңдеу үшін қолдану бүгін Қазақстандағы алтын өндірісінің өсуі мен интенсификациясының негізгі шектеулері болып табылады. Соның нәтижесінде, әсіресе, 1,5-2,5 г/т-ға дейін алтын қалатын, отқа төзімді кендерді қалдықтармен байыту сатысында алтынның үлкен шығындарына келтіреді. Осы себептен оны осындай шикізаттан тауарлық өнімге аяғына дейін алудың жалпы мөлшері 60-70 % -дан аспайды, және осы типтегі кендер отқа төзімді болып жіктеледі.

Бар алтын кендерінің 50 пайыздан астам белсенді қорлары байытуға қиын, құрамында зиянды қоспалар - мышьяк, сурьма және көміртегі бар деп сипатталатыны белгілі. Сарапшылардың пікірінше, мұндай кендердің үлесі қазіргі қорлардың шамамен 60 % құрайды. Алтын металлургиясында бұл кендер қиын өңделетін болып жіктеледі. Сарапшылардың пікірінше, Қазақстанның кен базасы кендегі алтынның орташа құрамы бойынша (6,3 %) даму үшін перспективті болып табылады. Алайда, кен көріністерінің едәуір бөлігі нашар зерттелген, және көптеген кен орындарының қорларын нақтылауды қажет етеді.

Құрамында алтын бар сульфидті кендердің қазақстандық кен орындары үшін кенде жоғарыда аталған зиянды қоспалардың көп мөлшері болуы тән. Осыған байланысты қорлардың белгілі бір бөлігі қиын өңделетін және отқа төзімді шикізат ретінде сипатталады. Осы кен орындарының көпшілігі үшін қазіргі уақытта байыту мен металлургиялық өңдеудің тиімді технологиялары жоқ. Осы себептен қазіргі кезде бұл алтын кен орындары өнеркәсіптік деңгейде пайдаланылмайды.

Құрамында алтын бар шикізатты қайта өңдеудің жаңа технологияларын жасау және дамыту әлемдегі түсті металлургияның өзекті мәселелерінің бірі болып табылады. Сонымен бірге, алтын өндірудің шешілмеген және іргелі міндеттерінің бірі - алтынның күрделі отқа төзімді негіздерін жоғары тиімді өңдеуді ұйымдастыру.

Әлемдік өндірістік тәжірибеде алтын өндіруші кәсіпорындардың негізгі заманауи мәселелері сонымен қатар металлургия өндірісінің қазіргі заманғы талаптарына сәйкес келмейтін дәстүрлі технологияларды қолдана отырып кендер мен концентраттардың сапасының нашарлауына қарай шикізат базасының өзгеруімен байланысты. Бұл осы металдарды алудың пирометаллургиялық және гидрометаллургиялық әдістерінде де кездеседі. Қолданылатын технологиялар қоршаған ортаны қорғаудың қажетті деңгейін қамтамасыз етпейді және өндірістің ғылыми-техникалық көрсеткіштерін арттыруды талап етеді.

ҚПС процесімен толық пирометаллургиялық балқыту және коллекторлық штейндерден алтын мен басқа металдарды алу біздің елдің қол жетпейтін және сусыз аймақтарында және бірқатар шет елдерде (Оңтүстік Африка, Ресей, Қытай, АҚШ, Қырғызстан және т.б.) орналасқан үлкен отқа төзімді алтын кен орындары үшін перспективалы болып шығуы мүмкін.

Бұл жұмыстың өзектілігі дүниежүзілік тәжірибеде де, Қазақстанда да бағалы металдарды өндіретін тауарларға өндірудің жоғары жылдамдығымен отқа төзімді алтын кендерін тиімді қайта өңдеудің қазіргі кезде жаңа технологияларының болмауына байланысты.

Қазақстандағы алтынды өңдеу өнеркәсібінің көптеген алтын концентраттарын шығаратын кәсіпорындарында оларды өңдеудің пирометаллургиялық технологиясы жоқ. Осы жұмыстың нәтижелері құрамында алтын бар кендерді оларды байыту сатысын айналып өтіп, одан әрі өңдеуге жарамды аралық өнімдерді алу үшін пирометаллургиялық әдістермен өңдеуге мүмкіндік береді. Сондықтан бұл жұмыстың тақырыбы өзекті болып табылады.

**Диссертациялық жұмыстың мақсаты** алтын мен күміске бай металданған фазаны алу үшін алтын мен сульфидті мыс концентраттарының отқа төзімді негізгі кендерін өңдеудің кешенді технологиясын жасау болып табылады.

**Зерттеу нысандары** ҚПС процесінде алтынға қиын өңделетін алтын кендерін тікелей балқыту кезінде алынған штейндер мен шлактар өнімдері - күйінділер мен ұшпа компоненттер - күкірт, мышьяк және көміртек, - металл балқымалары, алтын коллекторлары болды.

**Зерттеу пәні** - зерттеу объектілерінің физикалық-химиялық қасиеттері мен құрамдары; жергілікті отқа төзімді алтын кендері мен сульфидті мыс концентраттарын пирометаллургиялық өңдеу; штейндерді тотықтыратын күйдіру процесі; штейн күйінділерін қалпына келтіру процесі.

**Зерттеу міндеттері, олардың жалпы зерттеу жұмысын жүзеге асырудағы орны.**

Диссертациялық жұмыстың негізгі міндеттері:

– зерттеу объектілерінің физикалық-химиялық қасиеттері мен құрамын егжей-тегжейлі зерттеу;

– құрамында алтын бар мыс штейндерінің оңтайлы өнімділігі мен құрамын анықтай отырып және олардың физико-химиялық және жылу

қасиеттері мен құрылымын зерттей отырып, қиын өңделетін алтынды кендерді сульфидті мыс концентраттарымен зертханалық балқытуын жүргізу;

– сульфидті алтын жинайтын жүйелерді күйдіру процесінің технологиялық параметрлерін әзірлеу;

құрамында металдандырылған фазаны ала отырып құрамында алтын бар күйдіргіштерді сұйық фазалық тотықсыздандыру процестерін әзірлеу.

### **Зерттеу әдістері.**

Диссертациялық жұмысты орындау барысында қолданылатын негізгі зерттеу әдістері мен талдауларына мыналар жатады:

– патенттік ақпарат көздерін сыни талдау;

– зерттеулер химиялық, рентгендік фаза, термиялық анализ әдістерімен жүргізілді;

– Optima 2000 DV (АҚШ, PerkinElmer) индуктивті байланысқан плазмасымен оптикалық эмиссиялық спектрометрдегі үлгілерді химиялық талдауды орындау;

– EVA, Search/match бағдарламалық жасақтамасын және ASTM картасының мәліметтер базасын қолдана отырып, D8 Advance құрылғысын (Bruker AXS GmbH) пайдаланып үлгілерді рентгендік фазалық талдау;

– үлгілерді минералогиялық талдау MIN-8 микроскопы, OLYMPUS, Leica DM 2500P Stream BasicR бағдарламасын қолдану арқылы жүргізілді;

– үлгілерді термиялық талдау NETZSCHProteus бағдарламалық жасақтамасын қолдана отырып, STA 449 F3 Jupiter синхронды термиялық талдау құрылғысы арқылы жүргізілді;

– үлгілердің құрамын және оларды құрайтын табиғи және жасанды түзілімдерді зерттеу JEOL JXA 8230 Electron Probe Microanalyzer маркалы электронды зондты микроанализаторда жүргізілді;

– УИП-16-10-0,005 индукциялық балқыту қондырғысында тәжірибелер жүргізілді, сонымен қатар НТС 08/16 Nabertherm GmbH жоғары температуралы камералық пеші қолданылды;

– құрамында алтыны бар штейнді тотықтырғыш күйдіру процесін зерттеу үшін нихромды жылытқышы бар СУОЛ-0,25.1/12-М1 құбырлы зертханалық пеші негізінде қондырғы құрылды;

– газ фазасының құрамын зерттеу ПЭМ-2М газ анализаторының көмегімен жүргізілді.

### **Қорғауға шығарылатын негізгі ғылыми тұжырымдар.**

Диссертациялық жұмысты қорғау үшін келесі ережелер ұсынылған:

– алтын мен сульфидті мыс концентраттарының жергілікті отқа төзімді кендерін өңдеу процесі;

– зерттелетін штейндерді тотықтырғыш газ фазасының ағынының циркуляциясыз 600-900 °С температуралық диапазонда күйдіру процесін зерттеу бойынша тәжірибелердің нәтижелері;

– құрамында алтын бар күйінділерді қалпына келтіру процесін зерттеу бойынша эксперименттердің нәтижелері;

– коксты тұтынудың күйіндінің қалпына келу дәрежесіне әсерін эксперименттік зерттеу процесі;

– құрамында алтын бар күйінділерді эксперименттік балқыту нәтижелері.

### **Зерттеудің негізгі нәтижелері:**

– бірінші рет құрамдағы Бақыршық кен орнынан кенді тікелей балқытатын маталардың құрылымы мен қасиеттерінің ерекшеліктері зерттелді:  $\text{Cu}_9\text{Fe}_9\text{S}_{16}$  (моихукит),  $\text{Cu}(\text{OH})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$  (гидроксид меди),  $\text{FeS}$  (троилит),  $\text{CaS}$  (олдхамит),  $\text{Cu}_{1,1}\text{Fe}_{1,1}\text{S}_2$  (талнахит),  $\text{CaFe}_2\text{O}_4$  (хармунит),  $\text{ZnS}$  (сфалерит),  $\text{CuAsS}$  (лаутит),  $\text{PbS}$  (галенит),  $\text{CuFe}_2\text{S}_3$  (изокубанит) оларды әрі қарай пирометаллургиялық өңдеу үшін;

– дифференциалды термиялық зерттеулер алғаш рет  $\text{FeS}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  және  $\text{Fe}^0$  сәйкес келетін 140, 686, 761 °C деңгейінде максималды дамумен орташа және төмен қарқындылықтағы фазалық ауысулармен кенді тікелей балқытудан күңгірттің полиморфты өзгеруін белгіледі;

– кенді тікелей балқыту штейнінің балқу температурасы 900-1200 °C аралығында орнатылды;

– рудаларды тікелей балқыту арқылы алынған штейндердің құрамы: 98 %  $\text{Au}$ , 97 %  $\text{Ag}$  және 95 %  $\text{Cu}$ ;

– штейндерді күйдірудің оңтайлы температурасы - 800 °C орнатылған, бұл газ фазасының тотықтырғыш потенциалына байланысты штейндердегі күкірт пен көміртектің құрамының сәйкесінше 4,89 және 1,50 % -ға дейін төмендеуін қамтамасыз етеді;

– күйінділердің электронды зондтық зерттеулері олардың  $\text{FeO}_2$  қосылыстары түріндегі жаңа түзілімдер арқылы түзілетіндігін көрсетті, бұл шамамен 75-77 % құрайды және  $\text{CaS}$  формуласымен жаңадан пайда болған минералы ольдгамит, ол 10% құрайды;

– дифференциалды термиялық талдау сұйық фазаның пайда болуымен күйдіргіштердің балқу температурасы - 1241 °C болғанын анықтады, бұл одан әрі қалпына келтіру балқу температурасын анықтады;

– қалпына келтіру балқыту кезінде металдандырылған фазаның шығымының төмендеуімен металдармен байытылатындығы анықталды: алтын 189,2-ден 808,1 г/т-ға дейін, күміс 139,75-тен 544,8 г/т-ға дейін және мыс 2,19 6,82 % дейін, бұл металдандырылған қорытпадағы осы металдардың құрамын кальцийдің азаю дәрежесін өзгерту арқылы жүйелі түрде реттеу мүмкіндігін көрсетеді;

– тәжірибе жүзінде балқыманы сұйық фазалық тотықсыздандыру әдісін қолдана отырып, оңтайлы қож құрамы анықталды:  $\text{SiO}_2$  - 33-35%;  $\text{CaO}$  – 20-25 %; шамамен  $\text{Al}_2\text{O}_3$  - 10%;  $\text{Au}$  - 0,1 г/т және  $\text{Ag}$  - 2,0 г/т, бұл құрамында %: 70-75  $\text{Fe}$  бар металл қорытпаларын алу кезінде металдардың аз шығынын қамтамасыз етеді: 1-2 %  $\text{Cu}$ ; 145-150 г/т  $\text{Au}$  және 100-120 г/т  $\text{Ag}$ .

### **Тақырыптың жаңалығының негіздемесі және алынған нәтижелердің маңыздылығы.**

Бұл жұмыстың жаңалығы алтын өндірудің әлемдік тәжірибесінде алтынның отқа төзімді көміртекті-мышьяк негізді кендерін олардың қысқартылғын пирометаллургиялық селекциясы (ҚПС - процес) мақсатында

оларды тікелей балқыту әдістерімен ашудың мысалдары жоқтығымен байланысты.

Сонымен қатар, ҚПС процесіне тән алтынның отқа төзімді кендерден коллекторлы өнімдерге жоғары қалпына келуі жаңа физико-химиялық тәсілдерге негізделген, егер жоғары температура жағдайында және балқымадағы сұйық-фазалық өзара әрекеттесу толық ашылған болса құрамында отқа төзімді алтын бар шикізат орын алады. Сонымен бірге 95-98% алтын мен күмісті жинайтын ҚПС процесі жағдайында алынған осындай құрамында алтыны бар қорытпалар да алтын металлургиясындағы жаңа аралық өнімдер болып табылады.

Асыл металдарды алудың жоғары жылдамдығымен отқа төзімді алтын кендерін өңдеудің жоғары тиімді технологиясы жасалды. Технологиялық сызбадан ұсақ ұнтақтау, байыту және сәйкесінше алтынның қалдықтары бар алтынның жоғалуы, отқа төзімді алтын-мышьяк-көміртекті алтын кендері үшін тиімділігі толықтай алынып тасталды. Құрылыс материалдарының өндірісіне жіберілген қоқыс қождары түрінде оны балқыту процесінде қождаманың барлық салмағының 70-80 % құрайтын бос жыныстың барлық минералдары толығымен алынады және мышьяк, көміртек және басқа ұшқыштар қождаманың пироселекциялау процесінде толығымен дерлік газ фазасына өтеді. Жоғары температура аймағында және қалпына келтіру-сульфидтеу процесі жағдайындағы сұйық фазалық өзара әрекеттесу кезінде барлық отқа төзімді формалардың негізгі алтын кендерінің ашылуына кері әсер алынып тасталынады. 95-98 % алтын, күміс және мыс коллекторлық балқымаға өтеді, оның қождаманың салмағынан шығуы алғашқы көлемінің он есеге жуық қысқаруы нәтижесінде 5-15 % құрайды. Технологиялық циклде алтынды қалпына келтіретін арнайы өңдеудің болмауы және үлкен көлемдегі отқа төзімді кендер мен өндірілген штейндерді өңдеу мүмкіндігі болып табылады.

**Ғылымның даму бағытына немесе мемлекеттік бағдарламаларға сәйкестігі.**

Бұл жұмысты жүзеге асырудың негізгі алғышарттары әлемдегі және Қазақстанның алтын өндіру саласының шешілмеген мәселелерімен, олардан асыл және түсті металдарды алу үшін отқа төзімді негізгі алтын кендерін көптеп тартуымен тікелей байланысты.

Соңғы жылдары негізгі алтын өндіруші елдердің көптеген жетекші металлург ғалымдарының әлемдегі көптеген жұмыс істеп тұрған алтын өндіруші кәсіпорындардың технологиялық деңгейін сыни тұрғыдан талдау саласында жүргізген талдамалық шолулары жоғары тиімді технологиялар мен үлкен көлемдегі отқа төзімді алтын кендерін өңдеуге арналған жабдықтардың жоқтығын көрсетті. Осы себепті осындай кендерден алтын өндірудің үлесі тек 8-10 % құрайды, ал әлемнің отқа төзімді кендеріндегі алтын қоры жалпы баланста 40-50 % құрайды. Бұл жағдай Қазақстанға тән, әсіресе ең бай алтын кен орындары бүгінде толық өңделмеген.

Алтын өндірісінің озық өндіріс орындарында да қолданылатын технологиялық процестердің көп бөлігі алтынның отқа төзімді негіздерін

тиімді өңдеудің түбегейлі мәселелерін толық шеше алмайды. Тіпті қазіргі заманғы технологиялар кенді байытудан бастап, оны қайта өңдеудің қалдықтарымен өнімдерді циандауға дейін алтынның үлкен жоғалуына жол береді.

Осының негізінде қиын өңделетін алтын кендерін оларды байытудың барлық процестерін айналып өтіп, алтыны бар штейндерге тікелей балқыту ұсынылды. Құрамында отқа төзімді алтын бар шикізатты ашудың жоғары өнімді пирометаллургиялық әдісін құру және қолдану - ҚПС процесі коллекторлық өнімдерден асыл және түсті металдарды алудың жаңа әдістерін қажет етеді, қондырғылардың жоғары өнімділігін, технологиялық көрсеткіштердің жақсаруын, тиімділік және өнеркәсіптік ауқымда тиімді даму мүмкіндігін қамтамасыз етеді.

Бұл ұстаным осы жұмыстың негізгі негіздемесі бола отырып, жаңа коллекторлық өнімдерді және олардан алтын мен басқа металдарды бөліп алу әдістерін сынау үшін едәуір зерттеулерді қажет етеді.

ҚПС-процесі кезінде алынған, әр түрлі құрамдағы алтынға бай балқытылатын негізгі кендерді тікелей балқыту процестерін зерттеу бойынша зерттеулер көрсеткендей, алтынға төзімді емес кендерді өңдеу, коллекторлық штейндер құрамы жағынан алтын-мышьяк концентраттарын балқытудан алынған штейндерден және әсіресе асыл металдардың құрамынан едәуір ерекшеленді.

Сонымен қатар, әдебиеттерде пирометаллургиялық әдістермен осындай штейндерді ашу туралы мәліметтер мен зерттеулер жетіспейді.

Осыған сүйене отырып, осы жұмыстағы зерттеудің бірінші міндеті негізінен отқа төзімді алтынның негізгі кендерін оларды байытуды айналып өтіп, тікелей балқыту арқылы алынған коллекторлық штейндерді күйдіру процесін егжей-тегжейлі зерттеу болды.

Бұрын алтын бар кендер мен концентраттарды 1500 °С температурада балқыту және оңтайлы қож құрамы жағдайында сульфидтеуішті таңдап, күңгірт түзілу процесінің параметрлерін анықтау бойынша зерттеулер жүргізілген. Сонымен қатар, Қазақстанда бірқатар кен орындарының отқа төзімді кендерін тікелей балқытуға арналған ҚПС процесін сынау және әзірлеу барысында басты назар алтын мен күмістің темірлі сульфидті штейндердегі концентрациясын зерттеуге аударылды, және олардан алтын алу үшін, жоғарыда айтылғандай, оксигидрохлорлау әдісі қолданылды.

Алтынның концентрациясының басқа әдістерін іздеу және дамыту үшін зерттеудің екінші міндеті асыл металдар коллекторларының жаңа түрлерін алу және олардан алтын мен басқа металдарды алу мүмкіндіктерін зерттеу болды.

Жүргізілген зерттеулердің жоғары ғылыми-техникалық деңгейіне түсті металлургиядағы физика-химия және қазіргі заманғы пирометаллургиялық процестер технологиясы, атап айтқанда асыл металдар пирометаллургиясы саласындағы мәселелерді зерттеу арқылы қол жеткізілді. Сонымен қатар, кендерді зерттеудің жаңа физикалық-химиялық әдістері және жаңа жоғары температуралы пироэлектрлік қондырғылар қолданылды.

Диссертациялық жұмыста 2015 - 2017 жылдарға арналған ғылыми зерттеулерге гранттық қаржыландыру шеңберінде ғылыми-зерттеу жұмыстарын орындау кезінде алынған құрамында отқа төзімді алтыны бар кендер мен концентраттарды қайта өңдеу «Берік алтын кендерінің қысқартушы пирометаллургиялық селекцияларының коллекторлық сульфидті және металл қорытпаларынан алтын мен түсті металды алудың жаңа процестерінің технологиялық өлшемдерін зерттеу және өңдеу» тақырыбы бойынша зерттеу нәтижелері қолданылған.

Бұл жұмыс 2011- 2014 жылдарға арналған «Қазақстан Республикасында алтын өндірісін интенсификациялауды ғылыми-технологиялық қолдау» бағдарламасының «Қиын ашылатын алтынды құрамдас және концентраттардың пирометаллургиялық селекция технологиясын қысқарту электробалқыту әдісімен алтынды штейнге көшіру және электромембранды тотықхлорландыру әдісін жасау (Жолбарысты кен орындары, Шован «Терискей» ЖШС, Маятас «Маятас» ЖШС, «Саяқ-4» және т.б.)» жобасы бойынша жүргізілген зерттеулердің жалғасы болып табылады.

#### **Докторанттың әр басылымды дайындауға қосқан үлесі.**

Диссертация тақырыбы бойынша 13 мақала жұмысы жарық көрді, оның ішінде Scopus мәліметтер базасында қарастырылған журналдарда 2 мақала, ҚР БҒМ БҒСБК ұсынған ғылыми журналдар тізімінен 4 мақала, 5 тезис, 2 патент алынды.

Диссертациялық жұмыстың негізгі ережелері 4 халықаралық конференцияда баяндалды, оның ішінде:

– «Алмалық тау-кен металлургия комбинатының техногендік кен орындарын өңдеу мәселелерін шешудің заманауи мәселелері және инновациялық технологиялар» Халықаралық ғылыми-практикалық конференция (Өзбекстан, 2019);

– ICMSE-2019 материалтану және инжиниринг бойынша екінші халықаралық конференция (2<sup>nd</sup> International Conference on Materials Science and Engineering ICMSE-2019, Каир, Мысыр, 2019).

**Жұмыстың көлемі мен құрылымы.** Диссертация кіріспеден, 4 бөлімнен, қорытындыдан және 4 қосымшадан тұрады. Жұмыс мәтіні машинамен басылған 140 беттен, 39 кестеден, 41 суреттен тұрады.