

МАХАНБЕТОВА БАКТЫГУЛ АЛИМЖАНОВНАНЫҢ
8D07220 – «Металлургия» білім беру бағдарламасы бойынша
философия докторы (PhD) дәрежесін алуға ұсынылған

**«ШАЛҚИЯ КЕН ОРНЫНЫҢ ТАБИҒИ ОКСИДТІ ЖӘНЕ
СУЛЬФИДТІ ТЕХНОГЕНДІ МЫРЫШҚҰРАМДЫ ШИКІЗАТЫН
КЕШЕНДІ ӨНДЕУ»**

тақырыбындағы диссертациялық жұмысына:
АҢДАТПА

Жұмыстың мақсаты.

Диссертациялық жұмыстың мақсаты – Шалқия кен орнының табиғи тотыққан мырышқұрамды кендері мен сульфидті кендерінің байыту қалдықтарын кешенді өңдеу технологиясын құруды теориялық және тәжірибелік негіздеу және болатты жоңқаларды магнетит концентратына алмастыра отырып, бір уақытта кремнийлі ферроқорытпалар мен мырыш айдандыларын алу.

Зерттеу міндеттері:

– ферроқорытпалар мен Zn-Pb айдандыларын алу заңдылықтарын анықтай отырып, мырыш, қорғасын, темір сульфидтерінің көміртегімен және магнетитпен әрекеттесуінің термодинамикалық модельдеуін орындау;

- көміртегі, темір, магнетит қатысуында тотыққан Шалқия кенінің, оны байыту қалдықтарының және сульфидті кендермен қоспасының өзара әрекеттесуі кезінде өнімдердегі элементтердің концентрациясын, кремнийді қорытпаға, мырыш пен қорғасынның айдандыларға тепе-теңдік бөліну дәрежесінің оңтайлы технологиялық параметрлерін екінші реттік рототабельді жоспарлаумен ұштасқан термодинамикалық модельдеу арқылы анықтау;

- Шалқия кен орнының тотыққан кені мен оны байыту қалдықтары және олардың қоспасын электрлі балқыту арқылы маркалы ферросилиций алу және мырыш пен қорғасынның айдандыларға бөлінуінің оңтайлы технологиялық параметрлерін (кокс, болатты жоңқалар, магнетитті концентрат шығыны) айқындайтын математикалық модельдер жасау;

- Шалқия тотыққан кені мен оның байыту қалдықтарын электрлі балқыту кезінде кремнийді ферроқорытпаға бөліп алу кинетикасын зерттеу;

- Мырыш және қорғасынқұрамды айдандыларды ұстап және ферросилицийді балқыта отырып, Шалқия кен орны кендерінің байыту қалдықтарының кокспен, болатты жоңқалармен, магнетитті концентратпен және сульфидті кенімен қоспасын электрлі балқытудың үлкейтілген зертханалық сынақтарын жүргізу;

- Zn-Pb айдандылары мен маркалы ферросилицийдің алынуымен Шалқия кен орнының мырышқұрамды тотыққан кені мен байыту қалдықтарын кешенді өңдеу үшін жасалған технологиясының экономикалық көрсеткіштерін есептеу.

Зерттеу объектісі

Зерттеу объектісі - Шалқия кен орнының табиғи тотыққан кені мен сульфидті кенінің байыту қалдықтары.

Объектіні зерттеу әдістері

Зерттеулердің міндеттерін орындау үшін жұмыста келесі әдістер қолданылды: Гиббс энергиясының минимизация қағидатына негізделген HSC-6.0 бағдарламалық кешенін (Outokumpu, Финляндия) пайдалана отырып компьютерлік термодинамикалық модельдеу; доғалы зертханалық және кеңейтілген-зертханалық электр пештерінде электрлі балқыту; екінші реттік рототабельдік жоспарды (Бокс-Хантер жоспары) пайдалана отырып экспериментті жоспарлау; нысаналы өнімдерді қалыптастырудың математикалық модельдерін жасау; олардың негізінде маркалы ферросилицийді қалыптастыру және түсті металдарды алу жағдайларын оңтайландыра отырып, 3D және жазықтық бейнелерді құру. Шикізат пен өнімдерді талдау үшін жұмыста аспаптық және химиялық әдістер пайдаланылды: INCA энергия дисперсиялық микроталдау жүйелерімен JSM-6490LV растрлық электрондық микроскопиясы (Жапония); автоматтандырылған дифрактометрде рентгендік дифрактометриялық ДРОН-3 CuK α - сәулелену, β сүзгі; Superprobe 733, JEOL (Жапония) электронды-зондты микроанализатордағы рентген-спектрлік микроанализ; Дериватографта дифференциалды термиялық Q-1000D MOM (Paulik-Erdey, Венгрия); пикнометрикалық әдіс; кремнийді анықтаудың гравиметриялық әдісі; мырышты анықтаудың титриметрикалық әдісі.

Қорғауға шығарылатын негізгі ережелер (дәлелденген ғылыми гипотезалар және жаңа білім болып табылатын басқа да қорытындылар)

1. Темір және магнетиттің қатысуымен Шалқия кен орнының тотыққан және сульфидті кендерінің, оның байыту қалдықтарының көміртегімен, сондай-ақ мырыш, қорғасын, темір сульфидтерінің (және олардың қоспаларының) өзара әрекеттесуін термодинамикалық модельдеудің зерттеу нәтижелері.
2. Шалқия мырышқұрамды тотыққан кені мен оның байыту қалдықтарынан кремнийді ферроқорытпаға бөліп алу кинетикасын зерттеу нәтижелері.
3. Электрлік балқыту кезінде кремнийдің балқымаға, мырыш пен қорғасынның айдандыларға максималды бөлінуі кезінде маркалы ферросилицийді алуды қамтамасыз ететін оңтайлы шарттар: Шалқия тотыққан және сульфидті кенінің қоспалары; Шалқия сульфидті кені мен байыту қалдықтарының қоспалары.
4. Маркалы ферросилиций және Zn-Pb айдандыларын алу барысындағы, Шалқия кені мен оның байыту қалдықтарын электрлі балқыту арқылы кешенді қайта өңдеудің үлкейтілген зертханалық сынақтарының нәтижелері.

Ғылыми-зерттеу жұмысын жүргізу қажеттілігінің негіздемесі

Қазіргі кезде мырыш саласында байытудың жатық және ағымдағы қалдықтарын ғана емес, сонымен қатар қиын байытылатын тотыққан кендерді кешенді қайта өңдеу технологиясы жоқ. Бұл, атап айтқанда, Шалқия кен орнының кенішіне де қатысты, оның қайта өңделуі қалдықтардың пайда болуымен, үйінділерде тотыққан кеннің жинақталуымен және шикізатты кешенді пайдаланудың төмен дәрежесімен бірге жүреді. Осыған байланысты мақсатты бағытталған физикалық-химиялық және қолданбалы зерттеулер жүргізудің объективті қажеттілігі туындады, олардың нәтижелері болатты жоңқасын ішінара магнетит концентратына ауыстыру арқылы бір уақытта электр пештерінде ферросилиций мен мырыш пен қорғасынқұрамды айдандылар ала отырып, тотыққан мырышты кендерді, Шалқия кенін байыту қалдықтарын кешенді қайта өңдеудің жаңа технологиясын жасауға мүмкіндік береді.

Зерттеудің негізгі нәтижелерінің сипаттамасы

Компьютерлік термодинамикалық модельдеуді және екінші ретті рототабельді зерттеу жоспарлау әдісін біріктіру арқылы FeSi25, FeSi45 маркалы ферросилиций алу және тотыққан Шалқия кенінен, байыту қалдықтарынан және олардың қоспаларынан мырыштың кемінде 98%-ын, қорғасынның 90%-ын газ фазасына бөліп алу жағдайлары анықталды.

Эксперименттік түрде алынған математикалық модельдер негізінде тотыққан Шалқия кенінен, кен байыту қалдықтарынан және олардың қоспаларынан FeSi25, FeSi45 маркалы ферросилиций және құрамында жиынтық Zn және Pb 35,5–39,5% болатын айдандылар алу үшін кремнийдің 75–85%-ын қорытпаға, ал мырыш пен қорғасынның 98–99%-ын айдандыларға бөліп алу арқылы оңтайлы технологиялық параметрлер анықталды.

Тотыққан Шалқия кені, оның байыту қалдықтары мен сульфидті кеннің қоспасын электрлі балқытудағы ферросилиций құрамына кремнийді бөліп алу кинетикасы зерттелді. Шихта құрамына байланысты процесс барысында шектейтін кезең анықталды.

Электротермиялық өңдеу бойынша үлкейтілген зертханалық сынақтар кезінде байыту қалдықтары мен сульфид кенін болатты жоңқа, кокс, магнетитті концентрат және сульфидті кенінің қатысуымен балқыту барысында FeSi45 маркалы ферросилицийдің түзілетіні, оған кремнийдің 83–86%-ының өтетіні анықталды. Құрамында 31%-ға дейін Zn және 10,1%-ға дейін Pb бар айдандылар түзіліп, мырыш пен қорғасын іс жүзінде толық мөлшерде алынды.

Тотыққан және сульфидті кеннің, байыту қалдықтарының қоспасынан ферросилиций және мырыш пен қорғасынқұрамды айдандылар алу технологиясының есептелген экономикалық көрсеткіштері жылына 200 000 тонна кен мен қалдықты өңдеу кезінде 21,6–22,2 млн АҚШ доллары көлемінде пайда түсетінін, инвестицияның өтелу мерзімі 3 жыл болатынын, рентабельділік 31,3–32,1% деңгейінде болатынын көрсетті.

Алынған нәтижелердің жаңашылдығы мен маңыздылығының негіздемесі

Диссертациялық жұмыс тақырыбының жаңашылдығы бір уақытта ферросилиций және мырыш пен қорғасынқұрамды айдандылар алумен қатар Шалқия кен орнының тотыққан кендерін, Шалқия сульфидті кендерінің байытылған қалдықтарын және олардың қоспаларын кешенді электротермиялық өңдеу технологиясын жасаудан тұрады.

Жаңа ғылыми нәтижелер келесідей:

- Процесс магнетит қатысуымен жүргізілгенде мырыш сульфидін көміртекті тотықсыздандыру температурасы 414°C -қа дейін төмендейтіні анықталды; бұл жағдайда сульфидтердің реакциялық қабілеттілік қатары келесі ретпен өзгереді: $\text{PbS} > \text{ZnS} > \text{FeS}_2$.

- Теңгерімді жағдайларда ZnS -ті магнетит қатысуымен көміртекті тотықсыздандыру сатылы сипатқа ие екені анықталды: бірінші сатыда Fe_3O_4 Fe және FeO -не дейін тотықсызданады. Сонан соң ZnS -тің бір бөлігі (27,3%) темірмен тотықсызданады. Соңғы сатыда ZnS пен FeO арасындағы әрекеттесу нәтижесінде ($T > 1600^{\circ}\text{C}$) элементтік мырыштың (1800°C -та 88,3%-ға дейін) түзілуімен аяқталады.

- Тотыққан Шалқия кені, оның байытылған қалдықтары және олардың қоспаларының көміртеппен, магнетитпен, темірмен әрекеттесуінің термодинамикалық модельдері құрылды, солардың көмегімен Fe_3Si , Fe_5Si_3 , FeSi , FeSi_2 , $\text{FeSi}_{2.33}$, $\text{FeSi}_{2.43}$, Si , SiO(g) , Zn , Zn(g) , Pb , Pb(g) және FeSi_{25} , FeSi_{45} және FeSi_{50} маркалы ферросилицийдің температуралық аймақтары анықталды;

- Тотыққан Шалқия кені, оның байытылған қалдықтары және олардың қоспаларының электрлі балқытуының 3D кескіндерін қолдану арқылы көміртек артық болған жағдайда кремнийдің қорытпаға өту дәрежесінің төмендеу себебі – газ тәрізді SiO мен SiC түзілуі екендігі, ал темірдің SiC -ті бұзу арқылы үрдіске оң әсер ететіні анықталды;

- Тотыққан Шалқия кені, оның байытылған қалдықтары және сульфидті кендерінің магнетиттің қатысуында электробалқытуы кезінде балқыманың көбік түзу құбылысы байқалатыны, бұл балқымада газ тәрізді өнімдердің – SiO , CO , SO_2 , Zn , Pb – болуымен байланысты екендігі анықталды;

- Тотыққан Шалқия кені мен оның байыту қалдықтарын магнетит қатысуымен электробалқыту кезінде кремнийдің қорытпаға өтуі өтпелі режимде жүретіні анықталды.

Зерттеудің технологиялық жаңашылдығы:

Эксперименттік жолмен алынған математикалық модельдер негізінде тотыққан Шалқия кенінен, кеннің байыту қалдықтарынан және олардың қоспаларынан FeSi_{25} , FeSi_{45} маркалы ферросилиций және құрамында $\sum \text{Zn}$ мен Pb 35,5–39,5% болатын айдандылар алу үшін оңтайлы технологиялық параметрлер (кокс мөлшері, болатты жоңқасы, темір тапшылығы жоғары болат жоңқасын магнетитті концентрат теміріне алмастыру дәрежесі)

анықталды. Бұл жағдайда кремнийді қорытпаға бөліп алу дәрежесі 75–85%, ал мырыш пен қорғасынның айдандыларға өтуі 98–99%-ды құрады.

Кеннің байыту қалдықтары мен сульфидті кенді электротермиялық өңдеу бойынша жүргізілген үлкейтілген зертханалық сынақтарында FeSi45 маркалы ферросилиций түзілуі кезінде кремнийдің қорытпаға ең жоғары өту дәрежесі (83–86%) магнетит концентраты қатысында кен мен қалдықтарды бірге балқыту барысында байқалды. Құрамында 31% дейін Zn және 10,1% Pb бар айдандылар алынып, бұл металдардың кемінде 98–99% бөліп алынатыны анықталды.

Тотыққан Шалқия кені мен Шалқия байыту қалдықтарын өңдеудің экономикалық көрсеткіштері есептелді. Жылына 200 000 тонна кенді өңдеу кезінде болжамды пайда – 21,6–22,2 млн АҚШ долларын құрайды, инвестициялардың өтелу мерзімі – 3 жыл.

Алынған нәтижелердің маңыздылығы

Шалқия кенін өңдеудің жасалған әдісінің практикалық маңыздылығы мен технологиялық жаңашылдығы 2024 жылғы 5 сәуірде берілген ҚР № 36683 өнертабыс патентімен расталды.

Ғылымды дамытудың бағыттарына немесе мемлекеттік бағдарламаларға сәйкестігі

Диссертациялық жұмыстың тақырыбы ғылымды дамытудың басым бағытына – «Экология, қоршаған орта және табиғи ресурстарды ұтымды пайдалану» бағытына сәйкес келеді және Қазақстан Республикасы Үкіметінің жанындағы Ұлттық ғылыми кеңестің «Минералдық және органикалық ресурстарды терең өңдеу» мамандандырылған ғылыми бағытына сәйкес келеді.

Зерттеу бағыты Ғылыми бағыттар классификаторы: «Инжиниринг және технологиялар; Материалдар инжинирингі; Металлургия» бойынша сәйкес.

Диссертациялық жұмыс 2023–2025 жылдарға арналған BR19777171 бағдарламасы аясында «Шалқия және Жайрем кен орындарының байытылуы қиын полиметалл кендерін кешенді өңдеу технологиясын әзірлеу» тақырыбындағы мақсатты бағдарламалық қаржыландыру бойынша жүргізілді. Жоба ҚР Индустрия және құрылыс министрлігінің Өнеркәсіп комитеті мен ҚР Минералдық шикізатты кешенді қайта өңдеу жөніндегі ұлттық орталығы арасындағы 2023 жылғы 16 маусымдағы №35 шарт негізінде жүзеге асырылуда.

Автордың жеке үлесі

Автордың жеке үлесі жұмыстың мақсаты мен міндеттерін қою, эксперименттік зерттеулер жүргізу, алынған нәтижелерді өңдеу және талдау, қорытындыларды тұжырымдау, мақалалар, патент және баяндама тезистерін жазудан тұрады.

Жұмыстың апробациясы. Диссертациялық зерттеулердің нәтижелері бойынша 16 баспа жұмысы жарияланды, оның ішінде 6 мақала Scopus/Web of

Science мәліметтер базасына кіретін халықаралық рецензияланған ғылыми журналдарда жарық көрді:

1. **Makhanbetova B.**, Shevko V., Aitkulov D. Producing A Ferroalloy And Zinc Concentrate From The Shalkiya Deposit Sulfide And Oxidized Ores' Mixture. Journal of Applied Science and Engineering (Taiwan). -2025. - №. 28(1). Journal of Applied Science and Engineering (Taiwan).2025. - №. 28(1).Vol.60 (**Procentile 69**)

2. Shevko V., **Makhanbetova B.**, Aitkulov D., Badikova A. Optimization of joint electric smelting of the Shalkiya sulfide ore and its beneficiation tailings with medium-silicon ferrosilicon production. Complex Use of Mineral Resources, 2025, 334(3), pp. 91–98 (**WoS, Q4**)

3. Shevko V., **Makhanbetova B.**, Aitkulov D., Badikova A., Amanov D. Thermodynamic and Experimental Substantiation of Comprehensive Processing of Zinc Sulfide Ore and Its Concentration Tailings to Extract Non-Ferrous Metals and Produce a Silicon Ferroalloy. Minerals. - 2024. - №. 14(8), 819. (**Procentile 74**)

4. Shevko V., **Makhanbetova B.**, Aitkulov D., Badikova A. Smelting a Zn – Pb Sulfide Ore with Magnetite and Carbon for the Production of a Silicon Alloy and Extraction of Zinc and Lead into Sublimates. Periodica Polytechnica Chemical Engineering. - 2024. - №. 68(1). (**Procentile 53**)

5. Shevko V., **Makhanbetova B.**, Aitkulov D. Theoretical and experimental substantiation of obtaining an alloy from flotation tailings of lead-zinc sulfide ore. Physicochemical Problems of Mineral Processing. - 2023. - №. 59 (1). (**Procentile 52**)

6. **Makhanbetova B.**, Shevko V., Aitkulov D., Lavrov B., Badikova A. Optimization of pyroprocessing of zinc sulfide ore to produce ferroalloy and zinc. E3S Web of Conferences 531, 010 (2024) (**Procentile 23**)

Өнертабыс:

1. Патент РК. Способ переработки высококремнистых сульфидных свинцово – цинковых руд. Патент на изобретение № 36683 KZ. Бюл.14. -опубл. 05.04.2024. (По заявке 2023/0004.1) Айткулов Д.К, Жарменов А.А , Абыкаев Н.А, Шевко В.М, Школьник В.С, Саткалиев С.О, Терликбаева А.Ж, Байсанов С.О, **Маханбетова Б.А**,Искаков Б.О.

Отандық және шетелдік халықаралық конференция материалдарындағы ғылыми еңбектері:

1. Shevko V., Aitkulov D., **Makhanbetova B.**, Badikova A. Creation of a mining and metallurgical complex in the Kyzylorda. Proceeding VII International Conference «Industrial Technologies and Engineering» ICITE – 2021, Volume I. 10-11.11.2021

2. **Makhanbetova B.A.**, Shevko V.M., Aitkulov D.K., Badikova A.D., Lavrov B.A. Oxidative firing of flotation tailings of the Shalkiya deposit enrichment. Science foundations of modern science and practice. Abstracts of X International Scientific and Practical Conference. Athens, Greece. -2021. - pp. 575-581.

3. Шевко В.М., **Маханбетова Б.А.**, Абжанова А.С., Тулеев М.А.Взаимодействие магнетита с сульфидами цинка и железа. Труды МНПК ««Ауэзовские чтения–20: наследие Мухтара Ауэзова - достояние нации». - Шымкент: ЮКГУ им. М. Ауэзова, 2022. -С224-228

4. **Маханбетова Б.А.,** Шевко В.М., Айткулов Д.К. Оптимизация извлечения кремния из руды Шалкия в присутствии углерода и железа. Материалы МНПК «Инновации и комплексная переработка минерального сырья-актуальные составляющие диверсификации экономики» (12-14 октября, Алматы). 2023.Т.1

5. **Makhanbetova B.,** Shevko V., Aitkulov D., Lavrov B. Thermodynamic influence of temperature on the quantitative distribution of sulfur in the Shalkiya sulfide ore -C-Fe system. Proceeding International Conference «Industrial Technologies and Engineering» ICITE – 2023, Shymkent. Pp.223-227

6. **Makhanbetova B.,** Shevko V., Aitkulov D. Thermodynamic model of zinc, lead, and silicon extraction from the Shalkiya-C-Fe sulfide ore system. Proceeding International Conference «Industrial Technologies and Engineering» ICITE – 2023, Shymkent. Pp.216-222

7. **Маханбетова Б.А.,** Шевко В.М., Айткулов Д.К. Поисковые исследования по влиянию углерода и железосодержащего материала при электроплавке руды Шалкия. Труды МНПК «Инновации и комплексная переработка минерального сырья – актуальные составляющие диверсификации экономики» (30 сентября – 1 октября 2024 г.) Алматы, 2024, Том 2, 152-155

8. Шевко В.М., Айткулов Д.К., **Маханбетова Б.А.** Кинетика извлечения кремния из цинксодержащих руд Шалкия и хвостов ее обогащения. Труды V Международной научно-практической конференции «Современные тенденции в научных исследованиях» Москва: Международный центр «Новые научные исследования». -2025. -С.82-90

9. Шевко В.М., Айткулов Д.К., **Маханбетова Б.А.** Укрупненно-лабораторные испытания электроплавки хвостов обогащения руды месторождения Шалкия с получением ферросилиция и Zn-Pb возгонов. Международная научно-практическая конференция «Вопросы технических и физико-математических наук в свете современных исследований» Новосибирск. Сборник статей по материалам LXXXIV, №2 (75), 2025.-С.55-65.