

АННОТАЦИЯ

"АКТОГАЙ ТАУ-КЕН БАЙЫТУ КОМБИНАТЫ ЖАҒДАЙЫНДА СҰЙЫҚТЫҚ ЭКСТРАКЦИЯ ӘДІСІ АРҚЫЛЫ МЫСТЫҢ ҮЙІНДІК ШАЙМАЛАУ ЕРІТІНДІЛЕРІН ҚАЙТА ӨНДЕУДЕ КРАД ТҮЗІЛУІН ТӨМЕНДЕТУ"

тақырыбындағы

8D07204 – Металлургиялық инженерия

мамандығы бойынша философия докторы (PhD) ғылыми дәрежесін алу үшін
ұсынылған

ЕСІРКЕГЕНОВ МЕИРБЕК ИБРАГИМУЛЫНЫҢ

диссертациялық жұмысының аннотациясы

Жұмыстың мақсаты.

Диссертациялық жұмыстың мақсаты – Актогай тау-кен байыту комбинаты жағдайында сұйықтық экстракция әдісін қолдана отырып, мыс үйіндік шаймалау ерітінділерін қайта өңдеу технологиясын жетілдіру және крад түзілуін төмендету.

Зерттеу міндеттері:

- Алмалы және Актогай кен орындарының бастапқы кедей тотыққан мыс рудаларына технологиялық баға беру;
- Мыс алу технологиясын интенсификациялау мақсатында SX-EW электроэкстракция үрдісі бойынша патенттік-ақпараттық ізденіс жүргізу және әдеби шолулар жасау;
- Шаймалау, экстракция, реэкстракция және крад түзілу үрдістеріне термодинамикалық талдау жүргізу;
- Үйіндік шаймалау ерітінділерінен мыс алу кезінде крадтың түзілу және оны басу шарттарын анықтау, экстракция және реэкстракция үрдістеріне арналған МакКейб-Тайл изотермаларын тұрғызу;
- Крад түзілуін төмендететін сұйықтық экстракция әдісімен мыс үйіндік шаймалау ерітінділерін қайта өңдеу технологиясы бойынша зертханалық және үлкейтілген сынақтар жүргізу;
- Крад құрамында кремнеземнің болуы мен әсер ету механизмін анықтау үшін энергия-дисперсиялық рентгендік спектроскопияны қолдану;
- Крад түзілуін төмендету мақсатында коагулянттар мен флокулянттар ретінде беттік-белсенді қоспаларды қолдану бойынша зертханалық сынақтар жүргізу;
- Крадты төмендету технологиясын қолданудың экономикалық тиімділігі мен математикалық үлгісін жасау;
- Мыс экстракциясының технологиялық сұлбасын әзірлеу: бұл сұлба күкірт қышқылының шығынын төмендетуге, катодтық мыстың сапасын арттыруға, үшінші фаза – крадтың түзілуін болдырмауға, сондай-ақ фазалар бөлінуіне, экстракция үрдісіне және түсті металдар қоспаларын бөлуге кері

әсер ететін крадтың экстракт пен рафинатта жеке фаза ретінде жиналуын азайтуға бағытталған.

Ұсынылған әдістемелер мен қойылған міндеттер жалпы мақсатқа қол жеткізуді қамтамасыз етеді.

Зерттеу нысаны:

Зерттеу нысаны – Алмалы кен орнының құрамында $0,2\text{--}2,5$ г/дм³ мыс бар өнімді күкіртқышқылды ерітіндісі (PLS) және Актогай кен орнының құрамында $1,25$ г/дм³ мыс бар өнімді күкіртқышқылды ерітіндісі (PLS).

Зерттеу объектілерінің әдістері

Жұмыста үрдіс термодинамикасы бойынша мәліметтерді өңдеуге арналған цифрлық бағдарламалар HSC Outocumpu Ou, NETZSCH қолданылды; заманауи аналитикалық жабдықтар пайдаланылды: индуктивті байланысқан плазма әдісіндегі атом-эмиссиялық спектроскопия – Optima 8300DV, жалындық фотометр PFP 7 (Jenway, Англия), энергия-дисперсиялық рентгендік спектроскопия, инфрақызыл жұтылу спектрлері ИК-Фурье спектрометрі «Avatar 370» құрылғысында $400 - 4000$ см⁻¹ диапазонында KRS-5 терезелеріндегі капиллярлы қабаттардан алынды. Эксперименттік қондырғы – «Transmission E.S.P.» приставкасы қолданылды. Алынған деректер OMNIC 6 бағдарламалық қамтамасыз етуімен өңделді және келесі электрондық кітапханалар пайдаланылды: HR Aldrich FT-IR Collection Edition II (18454 спектр), Aldrich Organometallic, Inorganic, Boron, Deuterium Compounds (632 спектр). Nicolet Instrument Corp., 1995. Электронды кітапханаларда болмаған мәліметтерді анықтау үшін ғылыми әдеби көздер қолданылды. Рентгенфлуоресценттік талдау Axios PANalytical (Нидерланды) толқындық-дисперсиялық спектрометрінде жүргізілді. Рентгенофазалық талдау D8 ADVANCE "BRUKER AXS GmbH" (Германия) дифрактометрінде жүргізілді, сәулелену көзі – α -C, түтік кернеуі – 40 кВ, ток – 40 мА. Алынған дифрактограммалар EVA бағдарламасының көмегімен өңделіп, жазықтықаралық арақашықтықтар есептелді. Үлгілерді дешифрлеу және фазаларды анықтау SeaCRh/match бағдарламасы арқылы PDF-2 дерекқоры (ICDD, АҚШ) көмегімен жүргізілді. Екі сатылы экстракция және бір сатылы страйпингтен тұратын укрупненно-зертханалық пилоттық қондырғы қолданылды.

Қорғауға ұсынылатын негізгі тұжырымдар (дәлелденген ғылыми гипотезалар және жаңа білімдер болып табылатын басқа да қорытындылар):

1. Мыс ерітінділену үрдісінің термодинамикалық талдауының нәтижелері.
2. Алмалы кен орнының өнімді ерітінділерінен мыс экстракциясын крадты басу әдістемесімен жүргізу нәтижелері.
3. Актогай кен орнының өнімді ерітінділерінен мыс экстракциясын крадты басу әдістемесімен жүргізу нәтижелері.

4. Мыс экстракциясы үрдісінде беттік-белсенді заттарды (ББЗ) қолдану нәтижелері.
5. Күкіртқышқылды ерітінділерден экстракциялық әдіспен мыс алу тәсілі мен технологиялық сұлбасын әзірлеу нәтижелері.

Жұмыс Қ.И. Сәтбаев атындағы ҚазҰТЗУ-дың "Металлургиялық үрдістер, жылу техника және арнайы материалдар технологиясы" кафедрасында, Алматы қаласында орындалды.

Ғылыми-зерттеу жұмыстарын жүргізу қажеттілігінің негіздемесі

Қазақстандағы тотыққан мыс кендеріндегі мыс мөлшерінің тұрақты түрде азаюы – даусыз үрдіс. Егер 2018 жылы орташа мыс құрамы 0,37 % болса, 2024 жылға қарай бұл көрсеткіш 0,26–0,28 % деңгейіне дейін төмендеген. Бұл жағдай мыс кендерін тиімді өңдеу бойынша жаңа тәсілдерді іздестіруді, атап айтқанда, мыстың шығымын арттыру, крад түзілуі мәселесін шешу және экстрагенттерге кететін шығындарды азайту мақсатында ғылыми-зерттеу жұмыстарын жүргізуді өзекті әрі қажетті етеді.

Зерттеу нәтижелерінің негізгі сипаттамасы

Бірінші бөлімде Қазақстандағы тотыққан мыс кендерінің минералогиялық құрамы мен гидрометаллургиялық өңдеу тұрғысынан маңыздылығы талданған. Мыс алу үшін сұйықтық экстракция (SX-EW) технологиясы, оның ішінде экстрагенттерді және экстракциялық жабдықтарды пайдалану сипатталған. Экстракция үрдісінің тиімділігіне әсер ететін факторлар мен крад түзілуін төмендету әдістері қарастырылған. Атап айтқанда, ACORGA CR60 реагентін қолдану арқылы үрдістің тұрақтылығын арттыру және реагент шығынын азайту мүмкіндігі көрсетілген.

Екінші бөлімде күкірт қышқылын және әртүрлі экстрагенттерді пайдалана отырып, мысты шаймалау мен экстракциялау үрдістерінің термодинамикалық талдауы жүргізілген. Мыс, марганец, кремний, ванадий иондары қатысатын жүйелер зерттеліп, олардың SX-EW технологиясына әсері қарастырылған. Әртүрлі химиялық жүйелер үшін «потенциал–рН» диаграммаларының негізінде мыс иондары (Cu^{2+}), мыс сульфидтері, оксидтері мен гидроксидтерінің тұрақтылық аймақтары анықталған. Термодинамикалық тұрғыда тұрақты қосылыстар ретінде диоптаз $\text{Cu}_6\text{Si}_6\text{O}_{18} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ және ванадий силицидтері (V_5Si_3 , VSi_2 , V_3Si) анықталды. Марганец, кремний және ванадийдің экстракция және электролиз үрдістеріне кері әсер ететіні, олардың қиын бөлінетін фазалар түзіп, энергия шығынын арттыратыны дәлелденді. Бұл элементтердің жағымсыз әсерін азайту үшін модификацияланған экстрагенттерді қолдану, тұндыру әдістері және рН ортасын бақылау ұсынылды.

Үшінші бөлімде Алмалы және Актогай кен орындарының үйінді шаймалау өнімді ерітінділерінен мыс экстракциясы бойынша зерттеулер жүргізілді. Әртүрлі экстрагенттермен жүргізілген тәжірибелер рН мәнін 1,7 деңгейінде ұстап тұру экстракция тиімділігіне оң әсер ететінін және крад

түзілуін азайтып, экстрагенттің селективтілігін арттыратынын көрсетті. Acorga 5640 және Lix 984N экстрагенттерімен жүргізілген тәжірибелер жоғары мыс шығымына және темір мен силикаттардың органикалық фазаға өтуін азайтуға мүмкіндік берді.

Төртінші бөлімде Актогай кен орнының өнімді ерітінділерінен мыс экстракциясы кезінде крад түзілуін төмендету технологиясын әзірлеу нәтижелері келтірілген. CR60 секілді әртүрлі экстрагенттер мен қоспаларды қолдану арқылы үрдісс тұрақтылығы арттырылып, межфазалық қалдықтардың (крадтың) түзілуі азайтылды. ИК-спектроскопия, рентгенофазалық талдау және химиялық құрам бойынша алынған эксперименттік мәліметтер негізінде крад түзілуін барынша азайтатын экстракцияның оңтайлы параметрлері анықталды. Крадты басатын реагенттерді қолдану арқылы сұйықтық экстракция технологиясын жетілдіру әдістемесі ұсынылды.

Сондай-ақ, Актогай кен орнының өнімді ерітінділерінен мыс алу үрдісінің математикалық моделі жасалып, Python тілінде оптимизация бағдарламасы әзірленді. Экономикалық тиімділік мыс экстракциясының келесі параметрлерін оңтайландыру арқылы қамтамасыз етілді: ерітіндідегі мыс концентрациясы ($1-1,25 \text{ г/дм}^3$), ортаның рН деңгейі, экстракция уақыты және күкірт қышқылының концентрациясы. Математикалық модель мыс экстракциясын 88–90 % деңгейіне дейін арттыруға мүмкіндік берді. Бағдарлама өндірістік шарттарда үрдістің тиімділігін арттыру және операциялық шығындарды азайту мақсатында оңтайлы жағдайларды таңдауға мүмкіндік береді.

Соңында, Актогай кен орнындағы үйінді шаймалау ерітінділерін өңдеу технологиясының техникалық-экономикалық көрсеткіштері келтірілген. SX-EW схемасын қолдану арқылы мыс экстракциясы $2,5 \text{ г/л}$ концентрациясында 75 % деңгейінде жүзеге асырылады. 1 тонна катодты мыс өндіру үшін $533,33 \text{ м}^3$ өнімді ерітінді (PLS) қажет етіледі, бұл экстракция сатысындағы қалдық массасын азайтуға және мыс өндірісін арттыруға мүмкіндік береді. Крад түзілуін төмендету қосымша 525,6 тонна мыс өндіруге жағдай жасап, бұл 3,7 миллион АҚШ долларына баламалы экономикалық әсер береді. Жобаның өтелу мерзімі – 1,1 жыл, рентабельділігі – 45 % құрайды.

Алынған нәтижелердің жаңалығы мен маңыздылығын негіздеу

Зерттеу тақырыбының ғылыми жаңалығы — үшінші фаза – крадтың түзілуін төмендету технологиясын әзірлеуде жатыр. Бұл технология крад құрамындағы полимерленген кремний байланыстарын еріту арқылы іске асырылады. Ерітуді қамтамасыз ету үшін модификацияланған альдоксимдер тобына жататын экстрагенттер (ACORGA M5774, M5640), алкилсульфонатнатрий негізіндегі беттік-белсенді кешен, CR 60 реагенті және POLYPACS-30 түріндегі коагулянттар қолданылады.

Ұсынылып отырған технология сонымен қатар кемінде 2–3 сатыдан тұратын қарсыағынды экстракция сұлбасын пайдалануды қамтиды. Бұл тәсіл крад түзілуін азайтып қана қоймай, экстракция үрдісінің тұрақтылығын

арттыруға және реагенттерді тиімді пайдалануға мүмкіндік береді.

Жаңа ғылыми нәтижелер мынадай тұжырымдармен сипатталады:

– Алғаш рет мыс экстракциясының жаңа әдісі әзірленді, ол күкіртқышқылды ерітінділерден қарсыағынды 2–3 сатылы экстракция арқылы жүзеге асырылады. Бұл әдіс қолданыстағы технологиялардан ерекшеленеді, себебі экстракция үрдісі альдоксимдер тобына жататын хелат түзуші, селективті экстрагенттің (10 көлем. %) ерітіндісімен күкіртқышқылды ерітіндіні араластыру арқылы жүргізіледі. Алынған қоспа тұндыру жолымен екі фазаға бөлініп, мысқұрамды экстракт пен экстракциялық рафинат алынады. Үшінші фаза – крадтың түзілуі поли(4-стиролсульфонат натрий) атты мономерлі полимердің крадтағы полимерленген кремний байланыстарын ерітуі арқылы басылады. Бұл ретте 5 см³ көлемінде реагент қосылып, алкилсульфонат натрийдің беттік-белсенді кешенімен бірге әрекет етеді. Үрдіс $O:B = 1:2$ фазалық қатынасында және 20 ± 5 °C температурада жүзеге асырылады.

– Алғаш рет крад құрамына 1 %-дық POLYPACS-30 коагулянты, крадты басатын CR 60 қоспасы және ACORGA 5640 экстрагенті тікелей енгізіліп, кейіннен 5000 айн/мин жылдамдықта 5–7 минут бойы центрифугалау арқылы крад фазасының түзілуін 60–70 %-ға дейін төмендетуге болатыны анықталды. Бұл тәсіл экстракция сапасын едәуір жақсартып, экстрагенттің шығынын азайтуға мүмкіндік береді.

– Алғаш рет энергия-дисперсиялық рентгендік спектроскопия әдістері арқылы крад құрамында кремнеземнің жоғары мөлшерде болу себептері және оның үшінші фаза – крадка әсер ету механизмі анықталды. Зерттеу нәтижелері бойынша кремнеземнің еритін түрі ретінде $Si(OH)_4$ мономері белгіленді. Жоғары концентрацияда бұл мономер жоғары молекулалық салмақты полимерлік түрлерге ауыса отырып, диаметрі 50А-ден үлкен коллоидтық бөлшектер түзеді. Бұл бөлшектер $SiOH$ топтарын қамтитын, ішкі беткейі жақсы дамыған гель түзу арқылы бірігеді, және бұл өз кезегінде флотация тиімділігіне әсер етеді.

– Алғаш рет кремнеземнің поликонденсация жылдамдығы жүйедегі рН мәніне айтарлықтай тәуелді екені анықталды. Поликонденсацияның ең төменгі жылдамдығы рН 2–3 аралығында байқалады. $pH < 2-3$ болғанда реакцияны H^+ иондары, ал $pH > 2-3$ жағдайында керісінше OH^- иондары реакцияны баяулатады.

– Алғаш рет крад құрамында экстрагенттің жоғары мөлшерде болуы экстрагент молекулаларының кремний атомымен хелатты байланыс түзуге немесе поликремний қышқылындағы $Si(OH)_4$ және $SiOH$ топтарымен сутектік байланыс түзуге қабілеттілігімен түсіндірілетіні анықталды.

Зерттеулердің технологиялық жаңалығы:

– Алғаш рет крад түзілуін төмендетуге бағытталған екі сатылы технологиялық схема әзірленді.

Бірінші сатыда мыс экстракциясының тиімділігін арттырып, коллоидты кремнийдің мөлшерін азайтуға мүмкіндік беретін ACORGA 5640 экстрагенті

мен CR 60 крадты басатын реагентінің оңтайлы қоспасы қолданылады. Екінші саты крад фазасына тікелей 1 см³ көлемінде 1 %-дық POLYPACS-30 коагулянтты қосып, кейіннен оны 5000 айн/мин жылдамдықта 5–7 минут бойы центрифугалау үрдісін қамтиды. Ұсынылған әдістеме крад фазасының түзілуін 60–70 %-ға дейін азайтуға мүмкіндік береді.

Алынған нәтижелердің маңыздылығы:

– Әзірленген технология күкіртқышқылды ерітінділерден мыс экстракциялау үрдісінің тиімділігін едәуір арттыруға, түзілуі мүмкін крад көлемін азайтуға, флотация мен экстрагентті қайта өңдеу тиімділігін жақсартуға мүмкіндік береді. Бұл өз кезегінде шығындарды азайтуға және катодты мыстың сапасын арттыруға алып келеді.

Ғылымның даму бағыттарына немесе мемлекеттік бағдарламаларға сәйкестігі

Диссертациялық жұмыс 2022–2024 жылдарға арналған гранттық қаржыландыру аясында жүзеге асырылған ИРН AP14871587 «Мыс экстракциясы кезінде крад түзілуін төмендетуге арналған кешенді технологияны әзірлеу» жобасы шеңберінде орындалды.

Сондай-ақ, жұмыс 2023–2025 жылдарға арналған «Жас ғалым» бағдарламасы бойынша ИРН AR19175411 «Катодты мыс өндіру кезінде электролиз үрдісін интенсификациялаудың кешенді технологиясын әзірлеу» жобасы аясында және ПЦФ бағдарламасы бойынша ИРН BR21881939 «Тау-кен металлургия кешені үшін ресурсты үнемдейтін, энергия өндіретін технологияларды әзірлеу және инновациялық инжинирингтік орталық құру» жобасы шеңберінде де жүргізілді.

Аталған зерттеулер Инновациялық инжинирингтік орталықтың №6 зертханасы – «Металлургиялық үрдістер, жылу техника және ұнтақты металлургия зертханасында» орындалды.

Автордың жеке үлесі

Автордың жеке үлесі диссертациялық жұмыста баяндалған эксперименттік зерттеулерді орындауға, оның ішінде эксперименттік зерттеулер әдістемесін әзірлеуге, зерттеулерді жүргізуге, нәтижелерді талдауға және оларды жарияланымдар мен ғылыми баяндамалар түрінде рәсімдеуге тікелей қатысуынан тұрады.

Жұмыстың апробациясы:

Диссертациялық жұмыс материалдарының негізінде 8 баспа жұмысы жарияланған, оның ішінде 4 мақала — Scopus/Web of Science дерекқорларында индекстелетін халықаралық рецензияланатын ғылыми журналдарда.

1. Т. Чепуштанова, М. Есиркегенов, К. Мамырбаева, А. Акчил, Т. Гаипов. Өнімді ерітіндіден (PLS) мыс алу және крад түзілуін төмендету. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review: An International Journal*, 14.04.2024. <https://doi.org/10.1080/08827508.2024.2340545>. – Б. 1–13. Q1, процентиль – 89.

2. Т. Чепуштанова, М. Есиркегенов, Е. Бочевская, А. Шарипова, О. Байгенженов, Е. Меркібаев, А. Алтмышбаева. ACORGA, LIX экстрагенттері мен CR60 крадты басатын реагентінің SX-EW әдісімен мыс экстракциясына әсері бойынша зерттеу нәтижелері. Sustainability (MDPI), 08.09.2024. <https://doi.org/10.3390/su16177815>. – Б. 1–17. Q2, процентиль – 88.
3. Т.А. Чепуштанова, М.И. Есиркегенов, А. Николоски, Е.С. Меркибаев, А.Ж. Алтмышбаева. Күкіртқышқылды ерітінділерден мыс алу әдісін жетілдіру. Минералдық шикізатты кешенді пайдалану, №3 (334), 2025. <https://doi.org/10.31643/2025/6445.32>. – Б. 99–109. Q4.
4. Т.А. Чепуштанова, М.И. Есиркегенов, Қ.Қ. Мамырбаева, Е.С. Меркибаев. Алмалы кен орнының өнімді ерітіндісінен мыс алу және крад түзілуін зерттеу. Түсті металдар журналы (Non-ferrous Metals), 2023, №2. <https://www.rudmet.ru/journal/2217/article/36739/> – Б. 11–19. DOI: 10.17580/nfm.2023.01.02.
5. Т.А. Чепуштанова, М.И. Есиркегенов, Қ.Қ. Мамырбаева, Е.С. Меркибаев, А. Николоски. Алмалы кен орны мысын сұйықтық экстракциялау үшін оңтайлы экстрагентті сынау. Минералдық шикізатты кешенді пайдалану, №1 (2023). – Б. 43–49. Q4.
6. Т.А. Чепуштанова, М.И. Есиркегенов, Қ.Қ. Мамырбаева, А. Николоски, А.К. Түлепбергенов. Алмалы кен орны өнімді ерітіндісіндегі негізгі компоненттерді (мыс, темір және кремнезем) экстракциялау үрдісін зерттеу. ҚарМТУ «Университет еңбектері – Труды университета» ғылыми журналы, №1 (90), сәуір 2023. – Б. 23–29. DOI: 10.52209/1609-1825_2023_1_23.
7. Есиркегенов М.И., Мұқанғалиева А.Ө., Алтмышбаева А.Ж., Чепуштанова Т.А., Николоски А. Қазақстан кәсіпорындарындағы мыс экстракциясы кезінде крадтың түзілуі құбылысының әсері. «Сәтбаев оқулары – 2022» халықаралық ғылыми-практикалық конференция материалдары, 3-том. – Алматы: ҚазҰТЗУ, 2022. – Б. 147–151.
8. Т.А. Чепуштанова, М. Есиркегенов, Қ.Қ. Мамырбаева, А. Николоски, В.А. Луганов. Мыс экстракциясы жүйелеріндегі фазалар арасындағы түзілімдер. 63-ші Халықаралық ғылыми конференция материалдарынан таңдаулы мақалалар, 23 қазан 2020 ж., София, Болгария. Mining and Geological Science журналы, Т. 63. – Б. 31–37.

Патент

Өнертабысқа берілген өтінім:

«Күкіртқышқылды ерітінділерден мыс алу үшін сұйықтық экстракция әдісі», Өтінім нөмірі: №20524/0449.1, Тіркелген күні: 03.06.2024 ж. Авторлар: Т.А. Чепуштанова, М.И. Есиркегенов, Қ.Қ. Мамырбаева, Е.С. Меркибаев.

Монография

Т.А. Чепуштанова, М.И. Есиркегенов, Қ.Қ. Мамырбаева, Е.С. Меркибаев. Мыс гидрометаллургиясының тұрақты дамуы: сұйықтық экстракция кезінде крад түзілуін төмендетудің принциптері мен технологиялары. ISBN: 978-601-08-4140-6. – 136 бет.