

**СҮРІМБАЕВ БАУЫРЖАН НҰРЖАНҰЛЫНЫҢ**  
**6D070900 - Металлургия мамандығы бойынша**  
**философия докторы (PhD) дәрежесін алу үшін ұсынылған**  
**«СУЛЬФИДТІ КЕННЕН РЕАГЕНТ-АКТИВАТОРЫН ҚОЛДАНУ**  
**АРҚЫЛЫ АЛТЫНДЫ ҚАРҚЫНДЫ ЦИАНИРЛЕУ ҮРДІСІНІҢ**  
**ТЕХНОЛОГИЯСЫН ӘЗІРЛЕУ»**  
**тақырыбындағы диссертациялық жұмысының**  
**АНДАТПАСЫ**

**Шешілетін ғылыми немесе ғылыми-технологиялық мәселенің қазіргі жағдайын бағалау**

2017 жылдың наурыз айындағы санақ бойынша Қазақстанның алтын қоры 267,7 т құрады. Алтын қоры бойынша Қазақстан Республикасы әлемде 15-орынға, ТМД елдерінің ішінде Ресей мен Өзбекстаннан кейінгі 3-орынға ие.

Республикамыздың алтын өндіру өнеркәсібінің шикізат базасы негізінен ұсақ (25 т дейінгі қоры) және орташа (25-100 т дейін) кенорындармен сипатталады, мұнда елімізде өндірілетін алтынның 70 %-ы өндіріледі. Қор дәрежесі бойынша көсбасшы орынға Шығыс (жуықтап 52 %), Солтүстік және Орталық Қазақстан (30 %) жатады. «Kazakhstan Business Magazine» журналының мәліметтері бойынша елімізде алтынның 293 кенорны бар, олардың 38 %-ы кешенді, 60 %-ы алтынкенді және 2 %-ы шашыранды түрлі болып табылады.

Алтынқұрамды шикізаттарды өңдеудің барлық белгілі технологиялары ірі, орташа және ұсақ бос күйдегі алтынды бөліп алу мақсатымен гравитациялық байыту әдісін қолдануды қарастырады. Дегенмен, алтынқұрамды концентраттарды гидрометаллургиялық әдісті қолдану арқылы цианирлеу дәстүрлі технологиясымен өңдеу, аса жоғары емес өнімділік пен металдың кекпен айтарлықтай жоғалуына байланысты қиындатылған. Соңғы жылдары гравитациялық концентраттарды өңдеу үшін қарқынды цианирлеу әдісі жоғары қолданысқа ие болуда. Осы мақсатпен арнайы құрылғылар құрылды, олар металдық алтынды ірі дәнектерден цианидті ерітінділермен шаймалауға мүмкіндік береді. Қарқынды цианирлеу реакторы арнайы Юнион-Риф (OAR) зауыты үшін AngloGold Australia компаниясымен 1999 жылдары әзірленген. 2003 жылдың ортасында аталған реакторлар Австралия, Зимбабве, Канада, ОАР, Папуа-Жаңа Гвинея, Моңғолия және Ресей елдерінің жетекші алтынөндеуші 22 зауытында қолданылған. 1997 жылы Австралияда (Gekko Systems) InLine Leach Reactor (ILR) қарқынды цианирлеу аппараты әзірленді, алғашында ол тек Ashanti Goldfields компаниясының африкалық зауыттар қатарында ғана енгізіліп, қазіргі уақытта 20-дан астам шетел зауыттарында қолданысқа ие болды.

Қазіргі уақытта алтынды байытудың дәстүрлі технологиясын қолданушы көптеген отандық алтынөндіруші компаниялар қарқынды цианирлеу үрдісіне қызығушылық танытуда. Алтынқұрамды концентраттарды байытушы Акация қарқынды цианирлеу реакторы

Пустынное және Ақбақай кенорындарында қондырылып, іске қосылған. Қазіргі таңда, технологиялық сұлбаға қарқынды цианирлеу үрдісін енгізу алтынқұрамды гравитациялық концентраттарды өңдеу үшін негізгі шешімдердің бірі болып табылады.

Алтынқұрамды шикізаттарды өңдеудің технологиялық сұлбалары әр түрлілігімен ерекшеленеді. Нақты немесе басқа технологияны таңдау көптеген факторларға байланысты, олардың ішінде бастысы алтынқұрамды материалдың химиялық құрамы, оның ішіндегі алтынның сипаттамасы мен алтынмен қосарланған басқа да минералдардың қасиеттері, басқа да бағалы компоненттердің қатысуы, сонымен қатар шикізат құрамында өңдеу барысында технологияны қиындатушы компоненттердің болуы.

Жиі жағдайда алтын бөлшектері темір тотығы немесе марганец қабатымен, аргентитпен, ковеллинмен, галенитпен және кейбір басқа да минералдармен қапталған күйде кездеседі. Алтынның ұсақ бөлшектеріндегі қаптамалар, оларды ұсақтау барысында минералдық бөлшектердің жабысуы нәтижесінен де пайда болуы мүмкін. Бүтін және қалың қабаттардың болуы цианирлеу барысында алтынның еруіне кедергі келтіреді. Егер қаптамалар кеуекті немесе беттіктің тек жартысын қаптаса, онда алтынқұрамды материалды цианирлеу мүмкінді, дегенмен үрдістің жылдамдығы төмендейді. Гравитациялық байыту кезінде ірі, қаптамамен қапталған алтын концентратқа өтеді, бірақ оны ары қарай концентраттан бөліп алу арнайы әдістерді қолдануды қажет етеді. Алтын дәнегінде қаптаманың болуын кенді өңдеу технологиялық сұлбасын таңдау барысында есепке алынуы тиіс.

Қазіргі уақытта цианирлеу үрдісінің қарқындылығын арттыру мақсатында асыл металдардың беттігін пассивтейтін, қосылыстар қаптамаларын еріту жолымен алынатын белсендірушілер деп аталатын әр түрлі химиялық қосылыстардың кеңінен қолданылатыны белгілі. Реагент-активаторларды қолдану артықшылықтарына олардың жоғары технологиялылығы, қосымша құрылғыны қондыруды қажет етпейтін қолдану қарапайымдылығы, сонымен қатар тоқтатылған технологиялық үрдістің жабдықтарын ауыстыру қажетсіздігі жатады.

Реагент-активаторлардың қатысуымен гравитациялық концентраттарды қарқынды цианирлеу үрдісін жүргізу, алтынқұрамды шикізаттарды өңдеу тиімділігін айтарлықтай арттыруға мүмкіндік береді.

### **Тақырыпты әзірлеудің негізі және бастапқы деректері**

Диссертациялық жұмыс тақырыбын әзірлеу негізіне гравитациялық концентраттарды қарқынды цианирлеу үрдісін жүргізу кезінде тиімді реагент-активаторын қолдану арқылы сульфидті кендерден алтынды бөліп алу технологиясын құрастыру болып табылады.

Зерттеу тақырыбын әзірлеу кезінде бастапқы деректер көзіне таңдалды: Райгородок («RG Gold» компаниясы) кенорнының сульфидті алтынқұрамды кені, қор көлемі стандарт бойынша JORC есептеуінше Қазақстандағы ірі кенорындардың қатарына енгізілген.

### **Тақырыптың өзектілігі**

Гравитациялық байытуды алтынқұрамды кендерді өңдеу кезінде кеңінен қолданылады. Гравитациялық концентраттарды өңдеу сұлбалары балқытуға жіберілетін аса бай алтынқұрамды өнімдерді алуға мүмкіндік береді. Осы кезде алтынды бөліп алу 70 %-дан (көбінесе 50 % деңгейінде) аспайды.

Алтынқұрамды гравитациялық концентраттарды өңдеу әдістерінің тиімділерінің бірі болып қарқынды цианирлеу үрдісі саналады, ол тиімді технологиялық уақыт аралығында алтынды жоғары мөлшерде бөліп алуға мүмкіндік береді. Қарқынды цианирлеу үрдісі кезінде натрий цианидінің жоғары концентрациясын пайдаланумен қатар, химиялық қосылыстар да қолданылады, олардың көмегімен алтын дәнектерінің беттігіндегі пассивтеуші қабаттардың жойылуы іске асырылады. Дегенмен, цианирлеу үрдісінің интенсификациясы үшін алтын технологиясында қолданылатын белгілі реагент-активаторлар алтын беттігін бұғаттаушы қабаттарды жоюмен қатар, бос циан-иондары мен алтынның цианидті кешендерінің ыдырауына әкеп соқтырады, бұл аса қымбат реагент ерітуші – натрий цианидінің жоғары шығымы көрсеткішін көрсетеді. Сонымен қатар, белгілі реагент-активаторлар экологиялық қауіпсіздікпен сипатталады, және ол қоршаған ортаға экологиялық зияндылығын тигізеді.

Алтынқұрамды шикізаттан алтынды шаймалау үрдісінің интенсификациясына әкелуші шаймалау үрдісінің ұзақтылығын қысқартатын және өнімді ерітінділерге бөліп алынатын бағалы металдың дәрежесін жоғарылатушы тиімді реагент-активаторының ізденісі өзекті және алтын өндірісінде маңызды технологиялық тапсырма болып табылатындығы анықталды.

**Тақырыптың жаңалығы** сульфидті кендерді қарқынды цианирлеумен алынған гравитациялық концентраттардан реагент-активатор ретінде сірке қышқылын қолдану арқылы алтынды бөліп алу технологиясын әзірлеу болып табылады.

Гравитациялық концентраттарды қарқынды цианирлеу кезінде белсендіргіш ретінде сірке қышқылын сілтілі тотығу ортасында қолдану тәжірибелік түрде анықталып, дәлелденді. Бұл алтын беттігін пассивтеуші сульфидті минералдар мен олардың ыдырау өнімдерінің еруімен негізделген, мұнда металл ацетаттарының ерітінділері пайда болады.

Жұмыста келесідей жаңа ғылыми нәтижелер алынды:

- ерітінді рН-ы 10-нан жоғары кезінде алтын бетіндегі сірке қышқылының пассивті қосылыстармен өзара әсерлесуінің мүмкінділігі термодинамикалық тұрғыда негізделді;

- сірке қышқылының қатысуымен алтынды цианидті шаймалау кинетикалық заңдылықтары белгіленді. Шаймалау үрдісі диффузиялық тәртіпте жүргізілетіндігі және көпсатылы сипатқа ие екендігі көрсетілді;

- зерттеу нәтижелері негізінде сірке қышқылының қатысуымен гравитациялық концентраттарды қарқынды цианирлеу жаңа технологиясы ұсынылды.

**Жұмыстың мақсаты** – Райгородок кенорнының сульфидті кенінің гравитациялық концентраттарын қарқынды цианирлеу кезінде реагент-активатор ретінде сірке қышқылын қолдану арқылы алтынды бөліп алу технологиясын негіздеу мен әзірлеу, оларды зертханалық және іріленген-зертханалық жұмыстармен тексеру.

**Зерттеу нысаны** – Райгородок кенорнының сульфидті кендері және реагент-активатор қатысуымен қарқынды цианидті шаймалау әдісімен өңделетін гравитациялық концентраттар.

**Зерттеу пәні** – гравитациялық концентраттарды қарқынды цианирлеу кезінде реагент-активаторын қолданумен сірке қышқылының термодинамикалық негіздемесі, кинетикасы мен әсер ету механизмі, сонымен қатар белсендірушілерді қолданумен гравитациялық концентраттарды қарқынды цианирлеуді жүргізу шарттарын зерттеу, және тепе-теңдік күйдегі фазалар құрамын кешенді зерделеу.

**Зерттеу тапсырмалары, олардың ғылыми-зерттеу жұмысын орындаудағы орны:**

- алтынды цианирлеу үрдісін интенсификациялайтын химиялық реагенттерді қолдану мүмкіндігі бойынша әдеби мәліметтердің талдауын жүргізу;

- Қазақстан Республикасындағы Райгородок кенорнының бастапқы алтынқұрамды кендері мен гравитациялық концентраттарына технологиялық баға жүргізу;

- алтын беттігін пассивтейтін қосылыстарды еріту мақсатында реагент-активаторды таңдауды термодинамикалық негіздеу; қарқынды цианирлеу үрдісіне реагент-активатордың тигізетін әсерін, кинетикасы мен механизмін, сонымен қатар негізгі заңдылықтарын анықтау; үрдістің математикалық үлгісін құрастыру;

- қарқынды цианирлеуді жүргізу шарттарын зерттеу; реагент-активаторын қолдану арқылы сульфидті алтынқұрамды кенді өңдеу технологиясын әзірлеу және өндірістік қондырғыларды қайталайтын әр түрлі типті қарқынды цианирлеу аппараттарында зертханалық зерттеу жұмыстарын жүргізу.

Әрбір шешілетін тапсырма басқа да тапсырмалармен логикалық түрде байланысты және зерттеудің алдағы мақсаттарын орындауға бағытталған.

**Зерттеудің әдістемелік негізі**

Диссертациялық жұмысты орындауда қолданылатын негізгі зерттеу мен талдауда келесідей негізгі әдістер қолданылды:

- алтын беттігіндегі қабаттар құрамына кіретін пассивті қосылыстардың сірке қышқылымен өзара әрекеттесуінің мүмкіндікті реакцияларының термодинамикалық сипаттамаларын есептеу Outokumpu Technology Engineering Research компаниясының HSC Chemistry 8.0 термодинамикалық есептеу бағдарламасының көмегімен орындалды;

- металдарды атомды-абсорбциялық спектрометрлік талдау SavantAA үлгілі қондырғысында жүргізілді;

– әзірленуші технологияның бастапқы және аралық өнімдерінің үлгілерін рентгенодифрактометрлік талдау автоматты ДРОН-3 дифрактометрінде жүргізілді;

– гравитациялық концентраттың рентгенофлюоресцентті талдауы Alpha InnovX Systems маркалы портативті талдағышында жүргізілді;

– бастапқы үлгілер мен концентраттардың кристаллооптикалық әдіспен талдануы LEICA DM 2500 P маркалы поляризациялық микроскобында жүргізілді;

– қарқынды шаймалаудан кейінгі қалдықтарды зерттеу ИК-спектроскопиялық әдіспен Thermo Scientific Nicolet iS5 ИК-Фурье спектрометр қондырғысында іске асырылды;

– ауа ортасының мониторингі автоматтық тәртіпте ССК-4 синиль қышқылының сигнализаторы көмегімен жүзеге асырылды.

Зерттеу жұмыстары мемлекеттік метрологиялық тексерістен өткізілген қондырғылар мен өлшеу құралдарының көмегімен орындалды.

### **Қорғауға шығарылатын негізгі мәселелер**

Диссертациялық жұмысты қорғауға келесідей мәселелер шығарылады:

– әдеби мәліметтерді талдау нәтижелері, реагент-активатор ретінде сірке қышқылын қолдануды таңдауды негіздеу;

– алтынқұрамды шикізатты цианидті шаймалауда белсендіргіш ретінде сірке қышқылын қолдану мүмкіндігін термодинамикалық талдау нәтижелері;

– сірке қышқылының қатысуымен алтынды цианидті шаймалау үрдісін кинетикалық зерттеу мен модельдеу нәтижелері;

– гравитациялық концентраттардан алтынды қарқынды шаймалау бойынша зерттеу нәтижелері;

– сірке қышқылының қатысуымен алтынқұрамды гравитациялық концентраттарды қарқынды шаймалау әзірленген технологиясының іріленген зерттеу жұмыстары нәтижелері.

### **Диссертациялық жұмыстың тәжірибелік маңыздылығы:**

– реагент-активатордың қатысуымен (сірке қышқылы) алтынқұрамды гравитациялық концентраттан алтынды қарқынды цианидті шаймалау шарттары әзірленді;

– Райгородок кенорнының алтынқұрамды кенін гравитациялық байыту көрсетілді;

– алтынқұрамды гравитациялық концентраттарды цианидті шаймалау үрдісін барабанды және конус типті аппараттарда жүргізу шарттары ұсынылды;

– алтынқұрамды гравитациялық концентратты қарқынды цианирлеу үрдісінің технологиялық сұлбасын іріленген-зертханалық масштабта жүргізу зерделенді және әзірленді, ол Қазақстан Республикасының алтын бөліп алу кәсіпорындарында қолдану мақсатымен жартылай өнеркәсіптік зерттеу жұмыстарын жүргізу үшін ұсынылған.

### **Басылымдар және жұмысты сынау**

Диссертациялық жұмыс нәтижелері бойынша 13 басылымдық жұмыс жарияланды, оның ішінде:

– Scopus базасына кіретін журналдарда 2 мақала (ҚР Ұлттық ғылым академиясының хабарлары, геология және техникалық ғылымдар сериясы, импакт-факторы 0,06);

– Қазақстан Республикасының Білім және ғылым Министрлігі мен Білім және ғылым саласындағы бақылау комитеті ұсынған журналдарда жарияланған 4 мақала.

Жұмыстың негізгі ережелері мен нәтижелері халықаралық конференцияларда баяндалды:

– The International Scientific-Practical Conference «Prospects for the development of modern science» (Jerusalem, Israel, 2016 ж.);

– 49<sup>th</sup> International October Conference on Mining and Metallurgy (Bor, Serbia, 2017 ж.);

– «Табиғи және техногенді шикізатты өңдеудің гидрометаллургиялық үрдістерін интенсификациялау. Технологиялар және жабдықтар» атты Халықаралық ғылыми-техникалық конференциясы (Санкт-Петербург, Ресей Федерациясы, 2018 ж.);

– «Қиын байытылатын кендер мен техногенді шикізаттарды кешенді өңдеудің заманауи мәселелері» атты Халықаралық ғылыми конференциясы (Плаксин оқулары) (Красноярск, Ресей Федерациясы, 2017 ж.);

– «Минералды шикізатты кешенді өңдеу инновациясы» атты Халықаралық ғылыми-тәжірибелік конференциясы (Ж.Әбішев оқулары) (Алматы, 2016 ж.);

– «Түсті, сирек және асыл металдар өндірісінің тиімді технологиялары» атты Халықаралық ғылыми-тәжірибелік конференциясы (Алматы, 2018 ж.);

– «Минералды шикізатты кешенді өңдеу инновациясы» атты Халықаралық ғылыми конференциясы, «Қазақстан Республикасының металл өндірісін дамыту стратегиясы және минералды шикізатты байытуды бағалау» секциясы (Алматы, 2018 ж.).

Зерттеу нәтижелері бойынша «Алтынқұрамды гравитациялық концентраттарды өңдеу әдісі» атты тақырыпта № 2018/0134.1, 28.02.2018 ж. ҚР патентін алуға өтінім берілді, және оған сарапшылардың оң нәтижесі берілді.

**Диссертацияның құрылымы мен көлемі.** Диссертациялық жұмыс кіріспеден, 6 бөлімнен, қорытындыдан және қосымшалардан тұрады. Жұмыс 51 кесте мен 40 суреттен тұрады. Қолданылған әдебиеттер тізімі 135 атаудан құралған.