

ДЖУМАНКУЛОВА САЛТАНАТ КАРАБАЕВНАНЫҢ
6D070900 – «Металлургия» мамандығы бойынша
философия докторы (PhD) дәрежесін алу үшін ұсынылған
«ҮЛКЕН ҚАРАТАУ ВАНАДИЙҚҰРАМДЫ КЕНДЕРІН ҚАЙТА
ӨНДЕУДІҢ ГИДРОМЕТАЛЛУРГИЯЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯСЫН ЖАСАУ»
тақырыбындағы диссертациялық жұмысының
АҢДАТПАСЫ

Ғылыми немесе ғылыми-технологиялық проблеманың қазіргі жағдайын бағалау. Соңғы жылдары әлемде ванадийді тұтыну деңгейі құрылымдық, тот баспайтын және арнайы болаттар өндірісінің ғаламдық өсуіне байланысты үнемі өсіп келеді. Metallургиялық және химиялық салалардан басқа, ванадий және оның қосылыстары атомдық сутегі энергиясында және ванадий батареяларын өндіруде кеңінен қолданылады [1, 2].

Табиғатта ванадий көбінесе темір, титан-магнетит және фосфорит кендерінде кездеседі.

Қазақстан Республикасы қазіргі уақытта вольфрам және ванадий кендерінің, хром бар кендердің – екінші (23%), марганецтің – үшінші орындарының қоры бойынша әлемде бірінші орында тұрғанын атап өту маңызды [3].

Ванадий өнімдерін өндіруге арналған шикізат – титан-магнетит кені. Ванадий кен орындары Африкада, Австралияда (Брокен Хилл), Мексикада (Ламентос), Қазақстанда (Қаратауда) белгілі [4].

Титан-магнетит кендерін домна пешінде балқыту кезінде ванадий (0,1-0,2% V_2O_5) толығымен шойынға өтеді, ал шойын болатқа айналған кезде ол конверторлық қожға өтеді. Гидрометаллургиялық әдіспен осы қождан тауарлы ванадий пентаоксиді мен феррованадий шығарады.

Ванадий өнімдерін шығару әлемнің 20 елінде жүзеге асырылады, ал дамыған және дамушы елдердің үлесі 75%-дан астамды құрайды (әлемдік өндірістің), оның ішінде АҚШ-та 10%-дан астам, Қытайда 15%, Оңтүстік Африкада шамамен 45% және т.б.

Батыс Еуропа елдері ванадий өнімдерін негізінен импортталатын шикізаттан (ванадийқұрамды қож Оңтүстік Африкадан) өндіреді.

ТМД-да ванадий өнімдерінің өндірісі, соның ішінде кәсіпорындардың барлық кешені (тау-кен, металлургия, ферроқорытпа) Ресейде шоғырланған (23%).

Қазіргі уақытта қазақстандық титан-магнетит кені өңделмеген. Титан қождары Өскемен титан-магний зауытында ванадий пентаоксиді Сатпаев кен орнындағы ильменит кендерінен алынады, нәтижесінде жоғары сапалы ванадий пентаоксиді (98-99% V_2O_5) авиациялық құрылыста болат өндірісіне жіберіледі.

Бүгінгі күні негізінен ванадий өндірісіне тек титан-магнетит кендері қатысады, оларды өңдеу бастапқыда экономикалық тұрғыдан қолайсыз болып саналды [5], дегенмен, ванадий осы кеннен пирометаллургиялық әдіспен шойын мен титан қождарын алу үшін алынады. Шойыннан ванадийқұрамды қож алынады, қожды конвертерлеу арқылы тауарлық ванадий пентаоксиді

алынады, оның үлесіне бүкіл әлемдік ванадий өндірісінің 70%-ға жуығы келеді [6]. Титан-магнетит кендеріндегі ванадий пентаоксидінің орташа мөлшері 0,1-0,2% құрайды.

Қазақстанда ванадийдің ең ірі кен орындарының бірі (қоры 2 млн. тоннадан астам) Үлкен Қаратау ванадий бассейні болып табылады, ванадий пентаоксидінің орташа мөлшері 0,8-1,3% құрайды. Үлкен Қаратау бассейніне өткен ғасырдың 40-жылдары ашылған Баласауыскандық, Жабағлы және Құрымсақ кен орындары кіреді. Бүгінгі таңда бұл кен орындарының кендері өңделмеген. Көптеген кеңес ғалымдарының пікірі бойынша [7, 8] бұл кендер «технологиялық тұрғыдан дамыған» деп саналды, өйткені олардағы ванадийдің мөлшері титан-магнетит кендеріне қарағанда 8-10 есе жоғары.

Ванадий кендерінің технологиялық қасиеттері туралы маңызды зерттеулер Қазақ политехникалық институтында академик В.Д. Пономареваның жетекшілігімен жүргізілді [9].

Чусов металлургиялық зауыты өткізген алғашқы технологиялық сынақтарда құрамында фосфор мөлшері жоғары феррованадий алынды, нәтижесінде Солтүстік-Батыс Қаратау кен қорлары баланстан тыс болып жіктелді [10].

60-70 жж. алғаш рет Қазақ КСР Ғылым академиясының Металлургия және пайдалы қазбаларды байыту институты (МЖПҚБИ) мен Шымкент фосфор тұздары зауыты өндірістік жағдайда ванадийқұрамды кендерді пиро-, гидрометаллургиялық әдістермен кешенді қайта өңдеу арқылы ванадийді жолай бөліп алу мүмкіндігіне ие болды. Зауыт ванадий кендерін сары фосфор өндірісінде ағын ретінде пайдаланды. Бұл жағдайда құрамында 4-6% ванадий бар феррофосфор алынды [11].

1983-1987 жылдар аралығында КСРО Мемлекеттік жоспарлау комиссиясының нұсқауымен сары фосфор өндірісінде ағын ретінде Баласауыскандық кен орындарынан шамамен 14 мың тонна ванадий-көміртеқұрамды кварцитті қолдана отырып, ЖЖФЗ АҚ-да (Жаңа Жамбыл фосфор зауыты) бірқатар өндірістік сынақтар жүргізілгенін атап өткен жөн. Электролитті балқыту («ЖЖФЗ» АҚ-да) кезінде түзілген құрамында ванадий бар темір-фосфорлы қорытпадан «Тулачермет» АҚ-да ванадийқұрамды тауарлық өнім ванадий пентаоксиді дәстүрлі әдіспен шығарылды. Сынақ нәтижелері бойынша сары фосфорды өндіріске енгізу туралы ұсыныспен техникалық-экономикалық негіздеме дайындалды [12, 13].

1993-1994 жылдары отандық зауыттар («Фосфор ШӨБ», Шымкент қ., «Феррохром», Ақтөбе қ.) фосфор және ферроқорытпа өнеркәсібі үшін ағын ретінде ванадий кендерін қолданды.

«Феррохром» АҚ Баласауыскандық кен орнында ванадийқұрамды кенді сынау үшін пайдаланды, сондай-ақ сыналған технологияны осы зауыттарда әрі қарай қолдану ұсынылды, бірақ КСРО ыдырап, нәтижесінде өндірістік байланыстар жоғалды, сонымен қатар Баласауыскандық кен орнында тау-кен кәсіпорны болмады, сондықтан бұл жұмыс тоқтатылды [14-16].

Қазақстан Республикасының тау-кен металлургия саласын дамыту жөніндегі салалық бюджеттік бағдарлама шеңберінде (2010-2014 жж.) «ҚР

МШКҚӨ ҰО» РМК қызметкерлері технологиялық сипаттағы қолданбалы ғылыми зерттеулер жүргізді. Зерттеулер сирек және сирек кездесетін металдар өндірісін ұйымдастыру үшін Құрымсақ және Баласауысқандық кен орындарының минералдық шикізатын өңдеу технологиясын әзірлеу және тәжірибелік-өнеркәсіптік сынаулар жүргізуді болжады [17, 18].

2012 жылы зерттеу жүргізу нәтижесінде Құрымсақ кенорындарында кен дайындау технологиясы әзірленді және жылдық өнімділігі 15000 тонна кен болатын Баласауысқандық кен орындарының қара тақтатаас кендерінен сирек және сирек-жер металдарын өндіретін тәжірибелік-өнеркәсіптік алаң құру үшін технологиялық регламенттер шығарылды [19, 20]. Жұмыс жүргізу барысында зерттеушілер ванадий кендерінің күйінің белгісіздігіне байланысты ванадий пентаоксидінің құрамы бойынша екі кен орнындағы қорлары теңгерімнен тыс топқа жатқызылуы мүмкін екенін анықтады, V_2O_5 орташа құрамы 0,9~1,5% шегінде. Технологиялық процесті зерттеумен зертханалық жағдайларда Баласауысқандық кен орындарының кендерінен ванадий мен уранды кешенді бөліп алу мүмкіндігі көрсетілген.

2012 жылдың аяғында және 2013 жылдың басында «Балауса фирмасы» ЖШС «ҚР МШКҚӨ ҰО» РМК зерттеушілерін тарта отырып, Баласауысқандық кен орнының құрамында ванадийқұрамды кендерін автоклавты күкірт қышқылды шаймалау арқылы тауарлық аммоний метаванадатын тәжірибелік-эксперименталды өндіруді іске қосуды жоспарлады, бастапқыда оттегінің қатысуымен, содан кейін элементтік күкірттің қатысуымен. Сондай-ақ, төменгі температуралы күйдіру және кенді үймелеп шаймалау әдісімен ванадийді ион алмастырғыш шайырлардың көмегімен алып өңдеу схемасын енгізуге ұсынылды. Ұсынылған нұсқалардың кешенінен ванадийдің сілтісіздендіру сатысындағы төмен алынуы – 75% деңгейінде белгіленеді [21].

Соңғы жылдары Баласауысқандық және Құрымсақ кен орындарында кенді қайта өңдеу технологиясын әзірлеу және енгізу бойынша жүргізілген көптеген зерттеулер ванадийдің төмен бөлінуіне және процестердің күрделілігіне байланысты тиімді нәтиже бермеді. Сондықтан бұл бағытта ғылыми зерттеулерді жалғастыру қажет. Ванадийқұрамды кендердің минералогиялық құрамын мұқият зерттеу және олардың валенттілігін анықтау, ванадийді бес валентті күйге дейін тотықтырудың тиімді әдісін іздеу және зерттеу қажет. Осындай зерттеулердің негізінде анод аймағында қышқылдану мен сілтіленуді қамтамасыз ететін ванадийқұрамды кендерді қайта өңдеудің гидрометаллургиялық технологиясын, сілтілеу ерітіндісін қосымша активациялау арқылы жасауға болады.

Тақырыпты әзірлеу үшін негіз және бастапқы мәліметтер. Бүгінгі таңда тау-кен металлургия кешенінің алдында жоғары өңделген және дайын өнімді шығару, сонымен қатар жоғары технологияны енгізу міндеті тұр. Үкімет «Қазақстан Республикасының тау-кен металлургия кешенінің сирек кездесетін металлургия саласын дамытудың 2015-2019 жылдарға арналған жоспарын» жүзеге асыруда, бұл заңнамалық және реттеушілік қолдау саласындағы шаралар кешенін жүзеге асыруды білдіреді [22, 23].

Осыған байланысты диссертацияның тақырыбы Үлкен Қаратаудың ванадийқұрамды кендерін өңдеудің гидрометаллургиялық технологиясын дамытуға қатысты болып табылады және Қазақстан Республикасының индустрияландыру бағдарламасын іске асыру бағыттарына сәйкес келеді.

Бұрын жүргізілген зерттеулерде пирометаллургиялық немесе гидрометаллургиялық тәсілдермен ванадий пентаоксидін алу мәселесі қарастырылды. Алайда, қазіргі уақытқа дейін ванадийқұрамды кендерді өңдеудің қандай да бір тиімді тәсілі жоқ. Сонымен қатар, күрделі, қиын байытылатын және жарылуы қиын шикізаттан ванадийді толық алу үшін анод кеңістігінде электр тогының әсерінен шаймалаудың жаңа тәсілдерін қолдануға болады.

Диссертацияда Үлкен Қаратаудың ванадийқұрамды кендерінен ванадийді анодтық кеңістікте үш операция - тотығу, ванадийді сілтiсiздeндiру және сілтiсiздeндiру ерiтiндiсiн активтендiру арқылы алу мүмкiндiгi қарастырылады.

Осы ғылыми-зерттеу жұмысын жүргізу қажеттілігінің негіздемесі. Бүгінгі таңда Баласауысқандық, Жабағлы және Құрымсақ кен орындарында ванадийқұрамды кендер өңделмеген. Баласауысқандық кен орнының кендеріне пирометаллургиялық әдісті қолдана отырып, фосфор зауыттарының негізінде ванадий өндірісін құру мүмкіндігінің техникалық-экономикалық негіздемесі жасалды. Сынақ нәтижелері жаңа өндірістің болатындығын көрсетті, бірақ КСРО-ның құлдырауына байланысты бұл жұмыс тоқтатылды, олардан құнды компоненттерді шығарумен Қаратаудағы ванадий кендерін игеру жөніндегі зерттеулер жалғаспады.

Қазақстан Республикасының тау-кен металлургия саласын дамыту жөніндегі 2010-2014 жылдарға арналған салалық бюджеттік бағдарлама шеңберінде «ҚР МШКҚӨ ҰО» РМК ғалымдары мен «Балауса фирмасы» қызметкерлерінің қатысуымен Баласауысқандық кен орнында тауарлық аммоний метаванадатының тәжірибелік-эксперименттік өндірісі құрылды. Бірақ осы кен орнының ванадийқұрамды кендерінің табиғаты, құрамы және қасиеттері толық зерттелмегендіктен, бұл тәжірибе өндірісі әзірге ванадийді тауарлық өнімге шығару бойынша тиімді нәтиже берген жоқ [21].

Жоғарыда айтылғандарға байланысты кендердің минералогиялық құрамы мен қасиеттерін әрі қарай зерттеуге, сондай-ақ ванадийді тауарлық өнімге толық шығаруға мүмкіндік беретін гидрометаллургиялық өңдеудің тиімді әдістерін жасауға бағытталған ғылыми зерттеулер жүргізу қажет.

Жоспарланған ғылыми-техникалық деңгей туралы ақпарат, патенттік зерттеулер және олардан жасалған қорытындылар. Жұмысты орындау кезінде ғылыми-техникалық және патенттік ақпаратқа талдау жасалды. Әдебиеттер мен патенттік зерттеулер нәтижелерін талдау нәтижесінде Үлкен Қаратаудың ванадийқұрамды кендерінде ванадий бес валентті түрде тек тақтатас желінетін қабатта, ал төменгі қабаттың кен денесінде катиондық және аниондық формада болуы мүмкін екендігі анықталды. Сондай-ақ, уақыт өте келе кеннің минералогиялық және химиялық құрамы біртіндеп өзгеруі мүмкін. Айта кету керек, әдебиетте ванадийқұрамды кендерден ванадийді алу үшін электрометаллургиялық әдістерді қолдану туралы мәліметтер жоқ.

Диссертацияның метрологиялық қамтамасыз етілуі туралы мәліметтер. Зерттеу жұмыстарын жүргізу кезінде метрологиялық қамтамасыз ету Қазақстан Республикасының Мемлекеттік стандарты органдарымен тексерілген сертификатталған әдістемелерді, өлшеу құралдарын, жабдықтар мен аспаптарды пайдалана отырып орындалған қазіргі заманғы физика-химиялық талдау әдістерінің болуымен анықталды.

Тақырыптың өзектілігі. Соңғы жылдары болаттың әртүрлі маркалары өндірісінің көбеюіне байланысты ванадийге деген сұраныс үнемі өсуде (әсіресе Қытайда). Ванадий негізінен титан-магнетит кендерінен өндіріледі, олар экономикалық тиімсіз деп саналады. Үлкен Қаратау (Құрымсақ, Баласаускандық, Жабағлы кен орындары) көмір-кремнийлі тақтатастар мен кварц-роскоэлитті ванадийқұрамды кендер темір және титан-магнетит кендеріне карағанда анағұрлым технологиялық болып табылады, бірақ өнеркәсіптік ауқымда өңделмейді. Әдеби деректерді талдаудан Үлкен Қаратау кендері химиялық құрамы бойынша күрделі және ашылуы қиын болып табылатыны анықталды, бұл процестердің технологиялық көрсеткіштеріне әсер етуі мүмкін. Баласауыскандық базасындағы сыналған әдістер (үймелеп, автоклавты шаймалау және т.б.) қажетті нәтижелер берген жоқ. Ванадийдің ірі шетелдік өндірушілері (Австралия, ОАР) шикізаттың жетіспеуінен өндіріс қуатын қысқартуға мәжбүр болған кезде, Қазақстанда ванадийдің жеке өндірісін құру орынды және өзекті болып табылады.

Тақырыптың жаңалығы ванадийді ерітіндіге (92%-ға дейін) ала отырып, Үлкен Қаратаудың ванадийқұрамды кендерін электрохимиялық тотықтырумен өңдеудің гидрометаллургиялық технологиясын әзірлеуде жатыр.

Алынған нәтижелердің ғылыми жаңалығы.

Баласауыскандық және Құрымсақ кен орындарындағы тотыққан ванадийқұрамды кендердің сипаттамалары туралы жаңа мәліметтер алынды. Бұл кендердегі ванадийдің шашыраңқы, біркелкі емес бөлінетіні және екі, үш және төтрвалентті түрде сирек еритін түрінде болатындығы көрсетілген.

Алғаш рет күйдірілген кенді сутегі пероксидінің қатысуымен күкірт қышқылды шаймалау процесінің механизмі зерттелді. Мыналар анықталды:

- кенді тотықтырып күйдіру жағдайында 700-850°C температурасының аралығында, ұзақтылығы $\tau=2$ сағ диапозонда натрий карбонаты мен хлориді бірлесіп көмірдің толық жануы қамтамасыз етіледі және құрамында натрийдің мета- (NaVO_4), орто- (Na_3VO_4) және пированадаты ($\text{Na}_4\text{V}_2\text{O}_7$) түріндегі ванадийдің тез еритін бес валентті формасының жоғары концентрациясы бар күйіндіге қол жеткізіледі;

- сутегі пероксидінің натрий ванадаттарының күкірт қышқылымен өзара іс-қимыл реакцияларының дәйектілігіне және олардың ағу толықтығына оң әсері анықталды, бұл ретте реакциялар Гиббс энергиясының кему мәндері қышқылсыздандырусыз сілтілеу кезінде алынған деректермен салыстырғанда 2,5 есе ұлғайтылады. Ванадий ерітіндіге (~80%) сілтілендіру жағдайында келесі оңтайлы параметрлерде шығарылады: күйіндінің массасынан H_2O_2 шығыны 10%, $\text{C}_{\text{H}_2\text{SO}_4}=10\%$, температура - 65°C, Қ:С=1:4, $\tau=1$ сағ.

Алғаш рет күкірт қышқылының концентрациясының әсеріне, ұзақтығына, Қ:С қатынасына, диффузиялық аймақта процестердің ағуын сипаттайтын токтың температурасы мен тығыздығына байланысты ванадийкұрамды әртүрлі материалдарды электрохимиялық шаймалау процестерінің кинетикалық заңдылықтары мен механизмі белгіленді. Алдын ала күйдірілген ванадийкұрамды кендерден ванадийді ерітіндіге (92%-ға дейін) жоғары шығаруды қамтамасыз ететін электрохимиялық тотығу процесінің оңтайлы параметрлері белгіленген: бастапқы ерітіндінің концентрациясы, $C_{H_2SO_4}=10\%$, температура – $65^{\circ}C$, ұзақтығы – 1 сағат, Қ:С фазаларының қатынасы 1:4, токтың анодты тығыздығы $-200 A/m^2$.

Осы жұмыстың басқа ғылыми-зерттеу жұмыстарымен байланысы. Диссертациялық жұмыс Қ.И. Сәтбаев атындағы ҚазҰТЗУ-нің «Металлургия және пайдалы қазбаларды байыту» кафедрасында, Қ.И. Сәтбаев атындағы Геологиялық ғылымдар институтында «Қазақстанның ванадий кендерін өңдеудің инновациялық технологиясын әзірлеу» жобасы аясында орындалған.

Зерттеудің мақсаты – ванадийкұрамды кендерді қайта өңдеудің гидрометаллургиялық технологиясын жасау болып табылады, ол ванадийкұрамды минералдардың қиын ашылатын бөлігін электр қышқылдану және сілтілеу кезінде еритін қалыпқа ауыстыруды қарастырады.

Зерттеу нысаны Баласауысқандық және Құрымсақ (Үлкен Қаратау) кен орындары болып табылады.

Зерттеу пәні ванадийкұрамды кендер болып табылады.

Зерттеудің міндеттері, олардың жалпы ғылыми-зерттеу жұмыстарын орындаудағы орны:

- Баласауысқандық пен Құрымсақ кен орындарының минералогиясын және негізгі минералдарында ванадийдің табылу формаларын зерттеу;
- ұнтақтау және флотация циклінде ванадийкұрамды кендердің байытылуын зерттеу;
- тотықтырғыш болмаған және болған кезде күйдірілмеген және күйдірілген ванадийкұрамды кендерді сілтілеуді зерттеу;
- ванадийдің анодтық тотығу және сілтісіздендіру процесін зерттеу;
- ванадийкұрамды кендерден ванадийді анодтық сілтілеу технологиялық схемасын әзірлеу.

Ғылыми зерттеулердің әдіснамалық базасы:

- талдаудың қазіргі заманғы әдістерінің кешені, оның ішінде бастапқы материалдар мен өнімдердің жартылай сәулелі рентгенофазды, химиялық, термиялық талдауы;
- ванадийкұрамды кендерді байыту әдістемесі;
- ванадийдің химиялық және электрохимиялық тотығуын жүргізу әдістемесі;
- ванадий қосылған өнім түріндегі өнімді ерітіндіден ванадийді тұндыру және шығару әдістемесі.

Зерттеулер жүргізу кезінде келесі стандартты және стандартталмаған зертханалық, ірілендірілген-зертханалық жабдықтар пайдаланылды:

- планетарлық шар диірмен (Retsch PM-100);

- муфталы пеш (СНОЛ-1,4. 2,5. 1,2/12,5 – И 1);
- сұйық циркуляциялық термостат (ТЖ-ТС-01М-150));
- айналымның реттелетін саны бар механикалық араластырғыштар;
- вакуумдық сорғы;
- кептіргіш шкаф;
- электрохимиялық тотығуға арналған электролизер.

Қорғауға шығарылатын негізгі тұжырымдар:

- ванадийқұрамды кенді ұнтақтау және флотациялау циклінде байыту нәтижелері;
- ванадийді тотықтырып күйдірудің зерттеу нәтижелері;
- химиялық және электрохимиялық тәсілдермен ванадийдің тотығуын зерттеу нәтижелері;
- ванадий пентаоксидін ерітіндіден шығару нәтижелері;
- ванадийқұрамды кендерден ванадийді анодтық сілтілеудің технологиялық схемасы.

Жұмыстың практикалық маңыздылығы.

Алдын ала күйдірілген ванадийқұрамды кендерді электрохимиялық сілтілеудің жаңа құрама технологиясы әзірленді, ол байыту қалдықтарын ұсақтау және ұнтақтау, дешламациялау және флотациялау операцияларын қоспағанда, тотықтырғыштар – сутегі пероксидінің ерітіндісінің, марганец диоксидінің қатысуымен тотықтырғыш күкірт қышқылды сілтілеу процесін пайдаланумен ерекшеленеді.

Алғаш рет күйдірілген ванадийқұрамды кендерді электрохимиялық әдіспен бірге тотықтыру және сілтілеу процесін зерттеу үшін катион алмасу мембранасын пайдалана отырып электролиттік-электролиздік ұяшықтың конструкциясы әзірленді. Электродтарды дайындау үшін пайдаланылатын асыл металдармен салыстырғанда арзанырақ материалдарды таңдау ретінде қорғасын мен титан ұсынысымен негізделген.

Құрамында қиын еритін тотыққан ванадийқұрамды кендерді өңдеудің түрлі нұсқалары ұсынылған:

- бастапқы материалды алдын ала күйдіру, алынған күйіндіні сілтілеу және V_2O_5 түріндегі ванадийқұрамды өнімді кейіннен тұндыра отырып, ванадий қосылыстарын электрохимиялық тотықтыру;
- кенді электрохимиялық тотықтырумен және ванадий пентаоксиді түрінде ерітіндіден тауарлық өнімге тұндырумен сутегі пероксидінің тотықтырғыш қатысуымен сілтілеу;
- күйдірілген ванадийқұрамды кенді электрохимиялық сілтілеу, кейіннен тауарлы өнім V_2O_5 түрінде ерітіндіден ванадийді тұндыру.

Жарияланымдар. Диссертациялық жұмыстың нәтижелері бойынша 4 мақала жарияланды, соның ішінде:

- Scopus деректер базасына кіретін журналдағы 1 мақала («Металлург» журналы);
- Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігінің Білім және ғылым саласындағы бақылау комитеті ұсынған журналдарда 3 мақала.

Жұмыстың апробациясы. Жұмыстың негізгі ережелері мен нәтижелері ауызша баяндама түрінде 5 халықаралық конференцияларда сынақтан өтті:

- «Тау-кен металлургия кешенінің инновациялық дамуын ғылыми және кадрлық сүйемелдеу» халықаралық ғылыми-практикалық конференциясы (Қазақстан, Алматы);

- «Қазіргі ғылымның, техниканың және білімнің өзекті мәселелері» 76-шы Халықаралық ғылыми-техникалық конференциясы (Ресей, Магнитогорск));

- «Табиғи және техногенді шикізатты қайта өңдеудің гидрометаллургиялық процестерін интенсификациялау. Технологиялар мен жабдықтар» халықаралық ғылыми-практикалық конференциясы (Ресей, Санкт-Петербург);

- International Conference «Scientific research of the SCO countries: synergy and integration» (China, Beijing);

- «Түсті, сирек және асыл металдар өндірісінің тиімді технологиялары» халықаралық ғылыми-практикалық конференциясы (Қазақстан, Алматы).

Диссертацияның құрылымы мен көлемі. Диссертация кіріспеден, 7 тараудан, қорытындыдан және 5 қосымшадан тұрады. Жұмыс машинамен басылған 122 беттен тұрады, онда 28 кесте, 47 сурет бар. Пайдаланылған әдебиеттер тізімі 100 атаудан тұрады.