

## **АНДАТПА**

8D07201 «Геология және пайдалы қазба кен орнын барлау» білім беру бағдарламасы бойынша философия докторы (PhD) дәрежесін алу үшін дайындалған диссертация

### **БЕКИШЕВ ЕРКЕБУЛАН ТЕМИРХАНОВИЧ**

#### **«ҚАЛБА-НАРЫМ КЕН БЕЛДЕУІНІҢ СИРЕК МЕТАЛДЫ КЕН ОРЫНДАРЫНЫҢ ГАЗ ДЕРЕКТЕР БАЗАСЫН ҚҰРУ»**

##### **Жұмыстың жалпы сипаттамасы.**

Әлемдік деңгейде минералдық ресурстарға, соның ішінде сирек, сирекжер және стратегиялық маңызды металдарға сұраныстың тұрақты өсуі жағдайында геологиялық барлау жұмыстарының тиімділігін арттырудың ғылыми негізделген әдістерін әзірлеу ерекше маңызға ие болуда. Минералдық-шикізат базасының қазіргі даму кезеңі дәстүрлі шикізат көздерінің сарқылуымен, геологиялық құрылымдардың күрделенуімен және жаңа, соның ішінде жасырын әрі тереңде орналасқан кен түрлерін игеру қажеттілігімен сипатталады. Осындай жағдайда әртүрлі геологиялық ақпараттарды біріктіру мен интерпретациялауды қамтамасыз ететін кешенді цифрлық технологияларды енгізу негізгі бағыттардың біріне айналуға.

Қалба–Нарым сирек металды белдеуінің Орталық Қалба аймағы (Шығыс Қазақстан) жоғары зерттелгендігімен қатар, жаңа кен орындарын анықтау әлеуеті зор перспективалы металлогендік өңірлердің бірі болып табылады. Бір ғасырдан астам уақыт бойы жүргізілген геологиялық зерттеулер нәтижесінде мұнда әртүрлі масштабтағы геологиялық карталар, далалық жұмыстардың нәтижелері, геохимиялық және геофизикалық материалдарды қамтитын ауқымды деректер қоры жинақталған. Дегенмен, бұл деректердің сенімділік деңгейі, алыну әдістері және ұсынылу форматтары әртүрлі болғандықтан, олардың шашыраңқылығы байқалып, кенденуді болжауда кешенді пайдалануды қиындатады.

Сонымен қатар, қазіргі заманғы зерттеулер нәтижесінде жоғары дәлдікті геохимия, сканерлеуші электрондық микроскопия деректері, сондай-ақ заманауи спутниктік технологиялар арқылы алынған ғарыштық түсірілімдер сияқты жаңа мәліметтер пайда болуда. Бұл деректер де сирек металды объектілер туралы жалпы ақпараттық құрылымға біріктірілуі тиіс.

Осыған байланысты жұмыста әртүрлі геологиялық деректерді стандарттау, біріздендіру және интеграциялауды қамтамасыз ететін, үнемі жаңартылып отыратын бірыңғай геоақпараттық жүйені (ГАЗ) құру қажеттілігі негізделген. Мұндай тәсілді іске асыру әртүрлі шығу тегі мен алыну уақытына қарамастан ақпаратты бірегей сәйкестендіруге, интерпретацияның сенімділігін арттыруға және металлогендік заңдылықтарды кеңістіктік талдауға негіз қалыптастыруға мүмкіндік береді.

Зерттеуде Жерді қашықтықтан зондтау әдістерін аймақтық геологиялық карталаудың тиімді құралы ретінде қолдануға ерекше мән берілген. Landsat-8 спутнигінің деректерін басты компоненттерді талдау және спектралдық арналардың қатынастарын пайдалану арқылы өңдеудің әзірленген әдістемесі литологиялық кешендерді және Fe-оксидті, Si-O және Al-OH типті спектралдық аномалия аймақтарын анықтауға мүмкіндік береді. Бұл аномалиялардың гидротермалдық өзгеру аймақтарымен және кен минералдануымен кеңістіктік сәйкестігі олардың диагностикалық маңызын дәлелдейді және бұл тәсілді кенді аумақтарды алдын ала болжауда қолданудың перспективалылығын көрсетеді.

Жұмыста сондай-ақ жоғары кеңістіктік айырымдылығы бар қашықтықтан зондтау деректерін интерпретациялау үшін машиналық оқыту әдістерін қолдануға негізделген тәсіл жүзеге асырылған. WorldView-3 ғарыштық түсірілімдерін Random Forest алгоритмімен үйлестіре пайдалану геологиялық объектілерді жіктеу дәлдігін арттыруға, өзгеру аймақтарын бөлуге және ықтимал кенді құрылымдарды тануға мүмкіндік береді. Бұл әдістерді ГАЖ-технологияларымен біріктіру геологиялық жүйелерді кешенді талдауға арналған заманауи цифрлық платформаны қалыптастырады.

Осылайша, ұсынылған зерттеу Орталық Калба аумағында кенденуді болжау тиімділігін арттыру үшін геоақпараттық технологияларды, Жерді қашықтықтан зондтау әдістерін және машиналық оқыту алгоритмдерін біріктіретін интеграцияланған тәсілді әзірлеуге және сынақтан өткізуге бағытталған. Алынған нәтижелер геологиялық барлау жұмыстарын жетілдіруге, инвестициялық тәуекелдерді төмендетуге және өңірдің минералдық-шикізат базасын кеңейтуге арналған ғылыми-әдістемелік негіз қалыптастырады.

### **Зерттеу өзектілігі.**

Зерттеудің өзектілігі дәстүрлі кен орындарының сарқылуы және сирек әрі стратегиялық маңызды металдарға сұраныстың артуы жағдайында геологиялық барлау жұмыстарының тиімділігін арттыру қажеттілігімен анықталады. Калба–Нарым сирек металды белдеуінің Орталық Калба аймағы елеулі металлогендік әлеуетімен ерекшеленеді, алайда ұзақ уақыт бойы жинақталған әртүрлі геологиялық, геохимиялық және геофизикалық деректердің көлемі үлкен болғанымен, олардың әркелкілігі мен шашыраңқылығы кешенді түрде пайдалануды қиындатады.

Осыған байланысты көпжылдық деректерді біріздендіруге және жүйелеуге мүмкіндік беретін бірыңғай геоақпараттық жүйені құруға негізделген интеграцияланған тәсілді әзірлеу, сондай-ақ Жерді қашықтықтан зондтаудың заманауи әдістері мен машиналық оқыту алгоритмдерін қолдану ерекше маңызға ие. Landsat-8 деректерінің спектралдық талдауы мен жоғары айырымдылықтағы WorldView-3 спутниктік түсірілімдерін Random Forest алгоритмімен үйлестіре пайдалану гидротермалдық өзгеру аймақтарын және ықтимал кенді құрылымдарды анықтауға мүмкіндік береді.

Осылайша, зерттеу геологиялық деректерді кешенді интерпретациялаудың ғылыми негізделген әдістерін әзірлеуге бағытталған, бұл кенденуді болжаудың сенімділігін арттырудың және өңірдің минералдық-шикізат базасын тиімді игерудің негізгі шарты болып табылады.

Сондықтан да бұл зерттеудің өзектілігі Орталық Калба аумағында перспективалы аумақтарды анықтау және кенденуді болжау дәлдігін арттыру үшін ГАЖ-технологияларды, Жерді қашықтықтан зондтау әдістерін және машиналық оқыту алгоритмдерін біріктіретін интеграцияланған тәсілді әзірлеу қажеттілігімен айқындалады. Бұл тәсілді жүзеге асыру геологиялық барлау жұмыстарының тиімділігін арттыруға, жер қойнауын пайдаланудағы тәуекелдерді төмендетуге және өңірдің минералдық-шикізат базасын ғылыми негізде кеңейтуге мүмкіндік береді.

**Зерттеу нысаны:** Қалба-Нарым кен белдеуінің Асубұлақ-Белогорское кен түйіні (Шығыс Қазақстан).

**Зерттеу пәні.** Геологиялық геокеңістіктік мәліметтердің өзара байланыстары, тау жыныстары мен минералдарының спектрлік ерекшеліктері мен оларды қашықтықтан зондтау деректері арқылы анықтау индикаторлары.

**Зерттеу мақсаты:** Геоақпараттық технологияларды, Жерді қашықтықтан зондтау әдістерін (Landsat-8, WorldView-3) және машиналық оқыту алгоритмдерін (Random Forest) біріктіру негізінде Калба–Нарым сирек металды белдеуіндегі кенді құрылымдарды болжаудың интеграцияланған тәсілін әзірлеу және сынақтан өткізу. Бұл тәсіл перспективалы аумақтарды анықтаудың сенімділігін арттыруға және геологиялық барлау жұмыстарының тиімділігін жоғарылатуға бағытталған.

**Зерттеу міндеттері:**

- 1) Жүйеленген геокеңістіктік мәліметтерді цифрлық форматқа келтіру;
- 2) Цифрлық карталар негізінде веб-ГАЖ құру;
- 3) Цифрлық карталарды қолдана отырып геостатистикалық талдаулар жүргізу;
- 4) Landsat-8 спутнигі негізінде аймақтық масштабта минерализацияға индикаторлық спектрлік индекстерді (темір оксиді, гидроксил минералдары, кварцтену) есептеу және оларды геологиялық деректермен салыстыру;
- 5) WorldView-3 жоғары дәлдіктегі суреттерінен пегматит денелерін анықтау және граниттерден ажырату үшін машиналық оқыту модельдерін құру.

**Зерттеу әдістемесі.**

Жұмыс Калба–Нарым белдеуіндегі сирек металды кенденудің кеңістіктік заңдылықтарын анықтау мақсатында әртүрлі масштабтағы геологиялық және қашықтықтан зондтау материалдарын кешенді талдауға негізделген.

Зерттеу барысында картографиялық деректер жиналып, геобайланыстырылып, цифрландырылып, бірыңғай ГАЖ базасына біріктірілді. Сандық карталар негізінде кеңістіктік-корреляциялық және геостатистикалық әдістер қолданылды.

Аймақтық деңгейде Landsat-8 деректері атмосфералық түзетуден өткізіліп, кейін минералданудың индикаторлары болып табылатын спектралдық индекстер мен комбинациялар есептелді.

Жоғары айырымдылықтағы WorldView-3 суреттері алдын ала спектралдық өңдеуден өтіп, одан кейін спектралдық ақпарат геометриялық сипаттамалармен күшейтілді. Пегматиттік денелерді анықтау үшін Random Forest машиналық оқыту моделі қолданылды. Бұл модель оқыту таңдаулары негізінде құрылып,

минералданумен байланысты спектралдық белгілерді анықтауға мүмкіндік берді.

Алынған барлық нәтижелер ГАЖ ортасында біріктіріліп, заманауи көпденгейлі талдау жүйесі ретінде жүзеге асырылған интерактивті картографиялық жүйе түрінде ұсынылды.

#### **Қорғауға ұсынылатын негізгі ғылыми қағидалар:**

1) Қалба-Нарым кен белдеуінің бірыңғай веб–ГАЖ әртүрлі масштабты геологиялық және қашықтықтан зондтау деректерін интеграциялау оларды біртұтас кеңістіктік деректер базасы шеңберінде біріздендіруді және стандарттауды қамтамасыз етеді, бұл әртүрлі геологиялық ақпаратты салыстыруға, кен объектілерін орналастырудың кеңістіктік заңдылықтарын анықтауға және болашағы зор аумақтарды саралау, іздестіру-барлау жұмыстарын жоспарлау және геологиялық тәуекелдерді азайту кезінде жер қойнауын тұтынушыларына пайдалануы үшін жарамды бірыңғай цифрлық деректер базасын қалыптастыруға мүмкіндік береді.

2) Landsat-8 деректерін басты компоненттерді талдау және спектрлік каналдардың қатынастарын талдауды қолдана отырып спектрлік өңдеу аймақтық деңгейде негізгі литологиялық кешендерді ажыратуға және Орталық Қалбаның гидротермалдық өзгеру және кенді минералдану аумақтарына кеңістіктік сәйкес келетін Fe-оксид, Si-O және Al-OH типтерінің спектрлік аномалия аймақтарын окшаулауға мүмкіндік береді, бұл осы тәсілді алдын ала геологиялық карталау мен болжаудың тиімді құралына айналдырады.

3) Random Forest алгоритмімен WorldView-3 жоғары кеңістіктік рұқсаттамадағы спутниктік деректері негізіндегі нысандардың спектрлік және геометриялық ерекшеліктері арқылы талдау пиксельдік жіктеумен салыстырғанда пегматит денелерін неғұрлым сенімді түрде окшаулағыш гранитоидтардан ажыратуды қамтамасыз етеді.

#### **Ғылыми жаңалығы:**

Орындалған зерттеудің ғылыми жаңалығы классикалық металлогениялық материалдарды, Жерді қашықтықтан зондтау әдістерін және машиналық оқыту алгоритмдерін синтездеуге негізделген кенділікті болжаудың интеграцияланған геоақпараттық тәсілін әзірлеу мен іске асыруда болып табылады:

Қалба-Нарым сирек металды белдеуі үшін алғаш рет Орталық Қалба мысалында 100 жылдан астам зерттеулер барысында жинақталған әртекті геологиялық, геохимиялық, геофизикалық және қашықтықтан зондтау деректерін біріздендіруді, стандарттауды және бірлесіп түсіндіруді қамтамасыз ететін жаңа буын интеграцияланған геоақпараттық жүйесі құрылды. Әзірленген жүйе деректердің көпмасштабты талдау және кеңістіктік үйлесімділік қағидаттарын іске асырады және Қалба–Нарым белдеуінің интерактивті цифрлық картасын жасауға негіз болды.

Басты компоненттерді талдауды және спектрлік арналар қатынасын қамтитын Landsat-8 деректерін спектрлік түсіндіру әдістемесі әзірленіп, ғылыми негізделді. Бұл әдістеме аймақтық деңгейде литологиялық кешендерді саралауға және Fe-оксидті, Si–O және Al–OH типтеріндегі спектрлік аномалиялар аймақтарын анықтауға мүмкіндік береді. Олардың гидротермалдық өзгерістер

аймақтарымен және кен минералдануымен кеңістіктік және генетикалық байланысы анықталды, бұл кенділікті болжау кезінде спектрлік индикаторлардың диагностикалық маңыздылығын растайды.

Алғаш рет жоғары кеңістіктік рұқсаттамадағы WorldView-3 спутниктік деректерін пайдалана отырып, геологиялық картаға түсіру және сирек металды кенділікті болжау міндеттері үшін машиналық оқыту әдістерін (Random Forest) бейімдеу орындалды. Спектрлік, текстуралық және геометриялық белгілерді интеграциялауға негізделген тәсіл ұсынылды, бұл аймақтық деңгейде гранитоидты кешендер мен сирек металды пегматиттерді жіктеу дәлдігін арттыруды қамтамасыз етеді.

ГАЗ, ЖҚЗ деректері және машиналық оқыту алгоритмдерін интеграциялаудың концептуалды моделі әзірленді. Бұл модель сегментті талдаудан геологиялық объектілер мен металлогениялық заңдылықтарды жүйелі кеңістіктік модельдеуге көшуді қамтамасыз етеді. Аталған әдістерді кешенді пайдалану кенді құрылымдарды болжаудың сенімділігін айтарлықтай арттыратыны көрсетілді.

Спектрлік, геологиялық және машиналық модельдерді интеграциялау негізінде алынған болжамды карталарда көрсетілген гидротермалдық өзгерген тау жыныстары мен сирек металды минералданудың кеңістіктік таралуының жаңа заңдылықтары анықталды. Бұл Орталық Калба мысалында Калба-Нарым белдеуінде кенділіктің орналасу факторлары туралы түсініктерді кеңейтеді.

#### **Практикалық маңыздылығы:**

Зерттеудің практикалық маңыздылығы геоақпараттық технологияларды, Жерді қашықтықтан зондтау әдістерін және машиналық оқыту алгоритмдерін біріктіретін әзірленген интеграцияланған тәсілді енгізумен және оның геологиялық барлау мен минералдық-шикізат базасын басқарудың кең ауқымды міндеттерін шешуде қолданылуымен айқындалады.

Құрылған геоақпараттық жүйе әртүрлі геологиялық, геохимиялық, геофизикалық және қашықтықтан зондтау деректерін жинау, сақтау, біріздендіру және талдауды қамтамасыз ететін бірыңғай цифрлық орта болып табылады. Оны пайдалану геологиялық карталау, құрылымдық талдау және әртүрлі масштаб деңгейлерінде кенділік болжамын жасаудың тиімділігін едәуір арттыруға мүмкіндік береді.

Landsat-8 деректерін спектралдық өңдеудің әзірленген әдістемесі гидротермалдық өзгеру аймақтарын (Fe-оксидті, Si-O және Al-OH типтері) жедел анықтауды қамтамасыз етеді және далалық зерттеулерге кететін шығындарды азайта отырып, алдын ала геологиялық карталау мен іздеу жұмыстарының бастапқы кезеңдерінде тиімді құрал ретінде қолданылуы мүмкін.

WorldView-3 деректеріне машиналық оқыту алгоритмдерін (Random Forest) қолдану литологиялық кешендерді, гранитоидтарды және сирек металды пегматиттерді тану дәлдігін арттыруға мүмкіндік береді. Бұл болжамдық модельдердің сенімділігін және перспективалы аумақтарды таңдаудың тиімділігін едәуір жоғарылатады.

Әзірленген болжамдық карталар мен кенденудің кеңістіктік таралу модельдері іздеу-бағалау және барлау жұмыстарын жоспарлау кезінде, сондай-

ақ аумақтарды инвестициялық тартымдылығы бойынша саралауда пайдаланылуы мүмкін.

Зерттеу нәтижелері «Корпорация «ГеоПроект» ЖШС өндірісіне және «Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті» КЕАҚ 6B07302 «Геодезия және картография» білім беру бағдарламасының «Аэрокосмостық түсіру әдістері» пәні арқылы оқу процесіне енгізілді.

Жалпы алғанда, зерттеу нәтижелері геологиялық барлау саласында цифрлық технологияларға көшу үшін ғылыми-әдістемелік негіз қалыптастырады және Қазақстан Республикасының минералдық-шикізат базасын толықтыру және кеңейту міндеттерін шешуде қолданылуы мүмкін.

### **Нақты материалдар және автордың жеке үлесі.**

Жұмыстың негізінде автордың оқу барысында және Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университетінде BR24992854 «Шығыс Қазақстан облысының тау-кен металлургия өнеркәсібінің тұрақты дамуын қамтамасыз ету үшін бәсекеге қабілетті ғылыми негізделген технологияларды әзірлеу және енгізу» ғылыми жобасы барысында алынған материалдар жатыр.

Диссертацияны дайындау мақсатымен автор шетелдік ғылыми тағылымдаманы оқу бағдарына сәйкес ғылыми мекемеде өтті - Масарик университетінің «География» кафедрасы (Брно қаласы, Чехия Республикасы).

Диссертацияны жазу барысында автор Қалба-Нарым және ондағы сирек металды кен орындары туралы отандық және шетелдік ғылыми басылымдар мен анықтамалық материалдарды қарастырды. Ғылыми жұмыс құрамында автордың кенорындарында (Точка) далалық жұмыстар барысында алынған және әріптестерінің бөліскен материалдары бар.

Жерді қашықтықтан зондтаудың орташа кеңістіктік рұқсаттағы спектрлік суреттер (Landsat-8) тегін түрде EarthExplorer және Copernicus Data Space Ecosystem порталдарынан алынды. Жоғары дәлдікті WorldView-3 ғарыштық суреттері BR24992854 «Шығыс Қазақстан облысының тау-кен металлургия өнеркәсібінің тұрақты дамуын қамтамасыз ету үшін бәсекеге қабілетті ғылыми негізделген технологияларды әзірлеу және енгізу» ғылыми жобасы аясында ақылы түрде алынды.

### **Жұмыстың апробациясы және жарияланымдар.**

Диссертациялық жұмыстың негізгі нәтижелері ғылыми басылымдарда жарияланып, сондай-ақ халықаралық ғылыми конференцияларда баяндалып, талқыланды.

Scopus / Web of Science деректер базаларында индекстелетін халықаралық ғылыми журналдардағы жарияланымдар:

1) Mizernaya M.A., Aitbayeva S.S., Kotler P.D., Dolgopolova A.V., Seltmann R., Bekishev Y., Kuzmina O.N., Oitseva T.A., Shayakhmetova Z.A., Akbarov Y.Y. Baisalova A.O. Pegmatites of the Kalba–Narym Batholith (East Kazakhstan): Origin and Classification. Minerals, 2026, 16, 187.

Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігі Ғылым және жоғары білім саласында сапаны қамтамасыз ету комитеті ұсынған ғылыми басылымдардағы жарияланымдар:

1) Бекишев Е.Т., Рахымбердина М.Е., Мизерная М.А., Матайбаева И.Е., Кузьмина О.Н. Шығыс Қазақстан облысындағы сирек металды кен орындарын іздеуде қашықтықтан зондтау әдістерін қолдану // ШҚТУ хабаршысы. – 2023. – №3. – Б. 86–98;

2) Бекишев Е.Т., Рахымбердина М.Е., Левин Е., Капасов А.К. Қалба–Нарым кен белдеуінің сирек кездесетін металл кен орындарының дерекқорын құру // Қазақстанның кен журналы. – 2025. – №9 (245). – Б. 33–39;

3) Асылханова Ж.А., Рахымбердина М.Е., Бекишев Е.Т., Левин Е., Грохотов Е.В. Разработка цифровой геологической базы данных Калба–Нарымского рудного пояса Восточного Казахстана// Университет еңбектері. – 2025. – №4 (101);

4) Bekishev Y., Levin E., Mataibayeva I., Orazbekova G. Study and Prospects of the Red Cordon Rare Metal Ore Occurrence in the Asubulak Ore Field // Университет еңбектері. – 2025. – №4 (101).

Халықаралық ғылыми конференцияларға қатысу:

1) Asian Conference on Remote Sensing (ACRS 2024). IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 913(5), 052050;

2) Proceedings of the 9th International Conference on Cartography and GIS, 16–21 маусым 2024, Несебр, Болгария. ISSN: 1314-0604;

3) XX International Scientific and Practical Conference, 22–24 Мамыр 2023, Мюнхен, Германия. ISBN: 978-9-40368-892-3;

4) International Conference “Applied Photogrammetry and Remote Sensing for Environmental and Industry (APRSEI – PHEDCS 2025)”, 23–25 Қыркүйек 2025, Ташкент, Өзбекстан // The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLVIII-5/W3-2025.

#### **Жұмыстың құрылымы мен көлемі.**

Диссертациялық жұмыс 122 беттен тұрады және кіріспе, 6 бөлім, қорытынды, 124 атаудан тұратын пайдаланылған дереккөздердің тізімі, 40 сурет, 17 кесте және 2 қосымшадан тұрады.

Диссертациялық жұмыстың бірінші тарауында сирек металдар, олардың қазіргі өнеркәсіптік өндірістегі рөлі мен маңызы қарастырылып, осы пайдалы қазбалар тобына деген әлемдік сұраныстың өсу үрдістері талданған. Жоғары технологиялық салаларда, соның ішінде электроника, энергетика және инновациялық материалдар өндірісінде сирек металдарды қолдану аясының кеңеюіне ерекше назар аударылған.

Сонымен қатар тарауда Қазақстан Республикасындағы сирек металды кен орындарына шолу жасалып, олардың геологиялық-экономикалық ерекшеліктері, зерттелу дәрежесі және игеру перспективалары қарастырылған.

Диссертациялық жұмыстың екінші тарауында зерттеу жүргізу әдістемесі баяндалған. Геологиялық-картографиялық материалдарды жинау және талдау кезеңдері, сондай-ақ Жерді қашықтықтан зондтау деректері, оның ішінде Landsat 8 және WorldView-3 спутниктік суреттері сипатталған.

Жүргізілген далалық геологиялық жұмыстар туралы мәліметтер келтіріліп, маршруттар, бақылаулар және тау жыныстарының үлгілерін рентгенқұрылымдық талдау (XRD) үшін іріктеу сипатталған. Деректерді өңдеу

және талдау үшін қолданылған бағдарламалық құралдар, соның ішінде ENVI және QGIS бағдарламалары көрсетілген.

Сонымен қатар, спутниктік қашықтықтан зондтау деректерін өңдеу әдістемесі жан-жақты қарастырылып, алдын ала өңдеу, спектралдық талдау және суреттерді интерпретациялау кезеңдері сипатталған. Геологиялық карталарды цифрландыру және алынған деректерді геоақпараттық ортаға біріктіру тәсілдері баяндалған.

Диссертациялық жұмыстың үшінші тарауында Калба–Нарым кенді белдеуінің геологиялық сипаттамасы берілген. Оның тектоникалық құрылымының ерекшеліктері, кен нысандарының қалыптасуы мен орналасуын анықтайтын негізгі құрылымдық элементтері қарастырылған.

Калба–Нарым батолитінің магматикалық кешендері, олардың құрамы, жасы және қалыптасу геодинамикалық жағдайлары сипатталған. Өңірдің металлогендік мамандануы мәселелеріне ерекше назар аударылып, кенденудің негізгі типтері бөлініп көрсетілген.

Жеке бөлім сирек металды пегматиттерге арналған, олардың генетикалық ерекшеліктері, қалыптасу жағдайлары және сирек металдарды шоғырландырудағы рөлі қарастырылған. Сонымен қатар Орталық Калбаның негізгі кен орындарына, олардың геологиялық құрылысына және минералдық-шикізат әлеуетіне сипаттама берілген.

Диссертациялық жұмыстың төртінші тарауында геоақпараттық жүйелер және олардың геологиялық міндеттерді шешудегі мүмкіндіктері қарастырылған. Әлемдік геологиялық деректер базаларына, ГАЖ платформалары мен кеңістіктік деректерді сақтау, талдау және визуализациялауға арналған веб-ресурстарға шолу жасалған. Сондай-ақ Қазақстандағы геоақпараттық технологиялардың қазіргі жағдайы мен даму тарихы қысқаша сипатталған.

Геологиялық карталарды жинау, жүйелеу және цифрландыру әдістемесі, сондай-ақ оларды бірыңғай геоақпараттық ортаға біріктіру тәсілдері баяндалған. Деректерді дайындау және оларды веб-ГАЖ форматында жариялау процестеріне ерекше көңіл бөлінген, бұл геологиялық ақпаратқа ыңғайлы қолжетімділік пен визуализацияны қамтамасыз етеді.

Құрылған сандық карталар негізінде геологиялық объектілердің кеңістіктік таралу заңдылықтарын және сирек металды кенденуді бақылаушы факторларды анықтауға бағытталған корреляциялық, кластерлік және геостатистикалық талдаулар жүргізілген.

Диссертациялық жұмыстың бесінші тарауында аймақтық литологиялық карталау және Landsat 8 спутнигі деректері негізінде жыныстардың гидротермалдық өзгеру индикаторларын анықтау мәселелері қарастырылған.

Негізгі компоненттерді талдау (РСА) жүргізіліп, спектралдық арналардың ақпараттылығы анықталып, әрбір басты компоненттің геологиялық объектілерді ажыратудағы үлесі интерпретацияланған. Алынған нәтижелер негізінде литологиялық әртүрліліктің таралуын көрсететін классификациялық карталар жасалған.

Спектралдық арналар қатынасы әдісі арқылы темір оксидтері, гидроксилді минералдар және кварцтану аймақтарының құрамын сипаттайтын геологиялық

индекстер есептелген. Осы индекстер негізінде жалған түсті композициялар құрастырылып, гидротермалдық өзгерген жыныстар аймақтарын анықтау мен карталауға мүмкіндік берілген.

Диссертациялық жұмыстың алтыншы тарауында жоғары айырымдылықтағы WorldView-3 спутниктік деректері негізінде пегматиттік денелерді анықтау және оларды граниттерден ажырату үшін машиналық оқыту модельдерін әзірлеу қарастырылған.

Алғашқы кезеңде модельдер тек спектралдық сипаттамалар негізінде оқытылып, олардың геологиялық объектілерді жіктеу және пегматиттік денелерді анықтау тиімділігі бағаланған.

Екінші кезеңде спектралдық және геометриялық белгілерді біріктіретін гибриді деректерді қолдану тәсілі жүзеге асырылған. Нәтижелерді салыстырмалы талдау кешенді тәсілді қолдану кезінде классификация дәлдігінің артқанын және пегматиттер мен граниттерді неғұрлым сенімді ажыратуға мүмкіндік беретінін көрсетті.