

Код МРНТИ 38.17.17

\*Д.Н. Талгарбаева<sup>1</sup>, Э.Б. Серикбаева<sup>1</sup>, Э.О. Орынбасарова<sup>2</sup><sup>1</sup>ЖШС «Ионосфера институты» (Алматы қ., Қазақстан),<sup>2</sup>Геоматика инновациялық орталығы, Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан)

## ЛИНЕАМЕНТТІК ТАЛДАУДЫ ҚОЛДАНУ АРҚЫЛЫ АҚТОҒАЙ КЕНОРНЫНДА МЫСТЫ ПОРФИР РУДАСЫНЫҢ ОРНАЛАСУ ЗАҢДЫЛЫҚТАРЫН АНЫҚТАУ

**Аннотация.** Осы жұмыста із балама әдіс ретінде перспективті учаскелерді анықтауға мүмкіндік беретін, цифрлық жер бедерінің үлгісін (ЦМБ) құрылымдық талдау мен автоматтандырылған линеаменттік талдауды ұсынамыз. Зерттеу шеңберінде ALOS DEM деректері негізінде Ақтоғай кен орнының линеаменттік өрісі құрылып, ұзындығы 3 км-ден асатын 90-нан астам құрылым анықталды. Линеаменттер тығыздығының картасы мен роза-диаграммасы жасалып, Ақтоғай, Ықбас, Оңтүстік-Қолдар сияқты ірі жарылымдар болжамды түрде картаға түсірілді. Линеаменттердің жоғары тығыздығы – рудалану үшін қолайлы жоғары өткізгіштік аймақтарының көрсеткіші. Алынған нәтижелер бұрын жүргізілген өңірлік зерттеулермен жақсы сәйкеседі. Линеаменттік талдауды кешенді геологиялық барлауда қолдану геологиялық жағдайларды дәлірек бағалауға, сондай-ақ пайдалы қазбаларды іздеу мен бағалау тиімділігін арттыруға ықпал етеді.

**Түйінді сөздер:** линеаменттік талдау, жер бедерінің сандық үлгісі, ALOS DEM, мысты порфир кенорны.

### Application of lineament analysis to identify patterns of copper-molybdenum ore localization at the Aktogay deposit

**Abstract.** This study proposes an alternative method – structural analysis of a Digital Elevation Model (DEM) using automatic lineament analysis to identify promising areas for detailed investigation. Using the ALOS DEM, we analyzed the Aktogay deposit and generated a lineament field consisting of more than 90 structures with lengths exceeding 3 km. A lineament density map and rose diagram were created, revealing several major fault zones – the Aktogay, Ikbass, and South-Koldar faults. Increased lineament density indicates zones of enhanced permeability, favorable for ore formation processes. The results show good correlation with previous regional studies. The application of lineament analysis in an integrated exploration framework contributes to a more accurate and informed assessment of geological conditions, improving planning and decision-making in various fields such as geology, geophysics, and mineral resource evaluation.

**Key words:** lineament analysis, DEM, ALOS DEM, remote sensing in geology, Aktogay deposit, copper-molybdenum deposit.

### Применение линеаментного анализа для выявления закономерностей локализации медно-порфирового оруденения на месторождении Ақтоғай

**Аннотация.** В данной работе предлагается альтернативный метод – структурный анализ цифровой модели рельефа (ЦМР) с использованием автоматического линеаментного анализа для выявления перспективных участков. На примере Ақтоғайского месторождения была проанализирована ЦМР ALOS DEM, на основе которой построено линеаментное поле из более чем 90 структур протяженностью свыше 3 км. Построены карта плотности и роза-диаграмма, позволившие выделить предполагаемые крупные разломы – Ақтоғайский, Ықбаский и Южно-Колдарские. Повышенная плотность линеаментов указывает на наличие зон повышенной проницаемости, способствовавших формированию рудных тел. Полученные данные хорошо согласуются с результатами предыдущих региональных исследований. Метод линеаментного анализа может быть эффективно использован в комплексной геологоразведке, улучшая понимание тектонических условий и повышая эффективность прогноза и оценки минеральных ресурсов.

**Ключевые слова:** линеаментный анализ, ЦМР, ALOS DEM, ДЗЗ в геологии, Ақтоғайское месторождение, медно-порфировое месторождение.

### Кіріспе

Кез келген мемлекеттің геологиялық барлаудағы негізгі және өзекті міндеті ел экономикасының табысты өсу факторларының бірі болып табылатын минералдық-шикізат базасын кеңейту болып қала береді. Бұл міндетті шешу үшін, әсіресе кен өндіретін аудандарды анықтау кезінде, ең алдымен белгілі және игеріліп жатқан кен орындарының қапталдары мен терең горизонттарындағы іздеу-барлау жұмыстарының ауданын кеңейту қажет. Сондықтан кенжаралу факторлардың қалыптасу заңдылықтарын және минералдану процестерін бақылайтын геологиялық-құрылымдық жағдайларды зерттеу саласында жүргізілген ізденістердердің маңызды бөлігі болып табылады. Осыған байланысты, өңірлік және жергілікті деңгейлердегі кенбақылаушы құрылымдарды талдау олардың кенорындардың қалыптасуы мен орналасуына әсерін айқындау үшін маңызды болып табылады. Бұл іздестіру жұмыстарының ерекшеліктерін анықтауға және жаңа зерттеулер үшін болжаудың жаңа критерийлерін әзірлеуге мүмкіндік береді.

Кенбілімдерді зерттеуде қолданылатын құрылымдық талдаудың негізгі міндеті жер бетінің деформациясының кеңістікте тау жыныстарының өткізгіштігі өзгеруіне қалай әсер еткенін анықтау болып табылады. Сонымен бірге, оның мақсаты кендердің шоғырлануын болжау болып табылмайды, тиісінше пайдалы қазбалар кен орындарын айқындауға арналмаған. Алайда ықтималды минералдан-

дырылған құрылымдардың орналасуын, нысанын, дамуын және механикасын танудың арқасында құрылымдық геология пайдалы қазбаларды барлауда құнды құралға айналуда.

Құрылымдық талдау жер қыртысының әртектілігін анықтауға мүмкіндік береді, ол жаралымдар, жарықшақтар, тектоникалық бұзылулар, тегістеу жазықтықтары немесе қабатталу жазықтықтар, сақиналық құрылымдар сияқты нысандарда көрінуі мүмкін. Бұл линеамент түріндегі әртектілік жебеттік картаға түсіру жолымен ғана емес, сонымен қатар аэрофотосуреттер мен спутниктік бейнелер сияқты қашықтықтан зерделеу деректерін пайдалану да анықталуы мүмкін. Мысалы, келесі жұмыстың авторлары [1] автоматтандырылған линеаменттік талдаудың көмегімен ықтималды минералдану аймақтарын бөлу үшін құрылымдық талдауды пайдаланды. Талдауда линеаменттердің тығыздығы мен минералдық потенциал туралы ақпарат арасындағы өзара байланысқа негізделетін литий-құрылымдық тәсіл пайдаланылды. Келесі зерттеуде [2] Landsat-8 OLI және ASTER-GDEM деректерін пайдалана отырып, таулы аудандарда линеаменттерді картаға түсірудің тиімділігін көрсетілді. Жүргізілген жұмыстардың негізінде линеаменттерді автоматты түрде алу әдісі бұрынғы геологиялық деректермен салыстырғанда ақпараттылықты арттыруға және құрылымдық ерекшеліктердің картасын жасауға мүмкіндік беретіні туралы қорытындылар жасалды.

Ұсынылған әдістеменің мақсаты дәстүрлі әдістер кезінде бұрын байқалмаған заңдылықтарды анықтауға мүмкіндік беретін мысты порфир рудалануының окшаулануын зерттеу үшін құрылымдық линементтік талдауды пайдалануды қамтиды. Бұл кенорындарын болжау үшін жаңа критерийлер әзірлеуге мүмкіндік береді, мұның өзі минералдық ресурстарды іздестіру және бағалау әдістерін едәуір жақсартуы мүмкін.

Зерттеу жаңалығы деректерді өңдеудің озық әдістерін, соның ішінде автоматты түрде линементтерді бөлуге арналған бағдарламаларды қолданудан тұрады, осы әдіс нәтижелердің дәлдігі мен тиімділігін едәуір арттырады.

**Зерттеу аумағы**

Қарастырылып отырған аумақтың географиялық орналасуы Қазақстан Республикасы Шығыс Қазақстан облысы Аягөз ауданына жатады. Қолдар интрузивті массиві Катан-Емел-Бақанас құрылымдық-формациялық аймағының буындарындағы Ақтоғай жүйесіне орайластырылған және кіші ендікті Ақтоғай терең жарылымымен бақыланады. Топографиясы биіктігі 5–30 м-ден аспайтын және абсолюттік белгілері 390–470 м-ден аспайтын (1-сурет) шағын адырлар мен Қолдар аласа тауларынан тұрады.

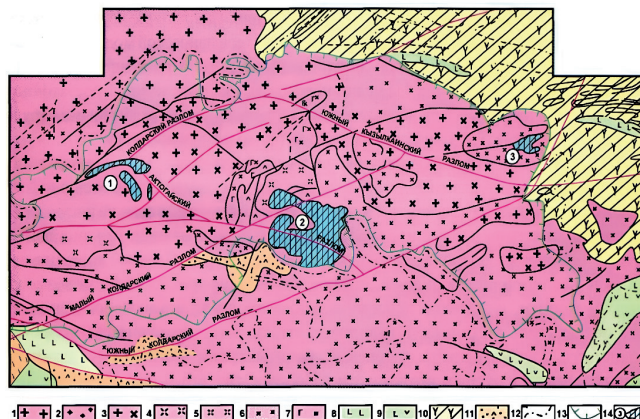


**Сурет 1. Шолу картасы.  
Figure 1. Overview map.  
Рис. 1. Обзорная карта.**

Геологиялық құрылысы және зерттелуі. Ақтоғай кенорны Ақтоғай рудалы алаңының бір бөлігі болып табылады, ол сондай-ақ Айдарлы және Қызылқия мысты порфир кенорындарынан тұрады. Руда алаңы орта-жоғарғы карбонның керегетас свитасының вулканииттерін жарып өтуші және жоғарғы карбон-төменгі пермнің қолдар свитасының жанартаутекті-шөгінді жыныстарымен жабылған Қолдар гранитоидты интрузиясына қатысты. Қолдар массиві лакколлит пішінінде болады, оның құрамында үш фаза бар: бірінші – габбро-диориттер, габбро-диабаздар, диориттер, гранодиориттер; екінші – биотитті граниттер; үшіншісі – порфир тәрізді граниттер, гранит-порфирлер [6]. Ақтоғай кенорны орталықта, Айдарлы батыс бөлігінде, ал Қызылқия массивтің шығыс бөлігінде орналасқан.

**Тектоника.** Қолдар массивінің кенді алқабы Бақанас синклинийінің оңтүстік-шығыс жағалау бөлігінде, Жоңғар-Балқаш бүктемелі жүйесінің андезитоидты интрузивті жанартаулы герцин Балқаш-Іле белдеуінің солтүстік-шығыс сегментінде орналасқан. Металлогендік тұрғыдан алғанда бұл жанартау-плутониялық құрылым Қаратас, Қоңырат, Саяқ және Ақтоғай кенорындарын, сондай-ақ бірқатар шағын кенорындар мен кенбілімдерін қамтитын Балқаш мыс кенорындарының белдеуі ретінде қаралуы мүмкін.

Осы массивтің геологиялық құрылымы мен кенденуінде негізгі сәттерді ұзақ өмір сүретін жарылымдар мен тектоникалық бұзылулар ойнайды. Олардың көбі геологиялық құрылымның бастапқы кезеңінде қалыптасып, альпілік кезеңге дейін дамуын жалғастырды. Негізгі кенбақылаушы айырылымды бұзылыстардың солтүстік-шығыс, кіші ендік және солтүстік-батыс бағыттары бар. Ең маңыздылары солтүстік-батыс бағыты бар Ықбас және Ақтоғай ірі жарықшақтары, солтүстік-шығыс жазықшасы бар Қолдар, Кіші Қолдар және Оңтүстік Қолдар жарылымдары, сондай-ақ субендік созылымы бар Қызылқия және Оңтүстік Қызылқия жарылымдары болып табылады (сурет 2). Рудалылық учаскелер перспективалылығын айқындайтын жалпы геологиялық факторларға ірі жарылымдардың қиылысу аймақтарына ұштастырылуын жатқызуға болады. Мысалы, Ақтоғай, Қолдар, Кіші Қолдар және Оңтүстік Қолдар сияқты ірі жарылымдардың қиылысу түйіндерінің аймақтары Ақтоғай және Айдарлы кенорындары үшін қолайлы жағдай қалыптастырды. Ал Қызылқия кенорнының қалыптасуына ірі Ықбас және Оңтүстік-Қолдар жарылымдарының бөлінуі тікелей әсер етті.



**1 – орташа түйіршікті граниттер; 2 – микрозернисті граниттер, гранит-порфирлер; 3 – гранодиориттер, кварцты диориттер; 4 – пегматиттік құрылымы бар ұсақ дәнді диориттер; 5 – монзониттер; 6 – құрамында кварц бар порфирлі диориттер; 7 – габбродиориттер; 8 – базальтты порфириттер; 9 – андезит-базальт порфириттері; 10 – қышқыл құрамның вулканогенді-шөгінді қалыңдықтары; 11 – дацитті порфирлер; 12 – магниттік қасиеттері бойынша бөлінген жыныстардың шекаралары; 13 – Қолдар интрузивінің жер бетіне шығуының сыртқы шекарасы; 14 – кен аймақтары: 1 – Айдарлы, 2 – Ақтоғай, 3 – Қызылқия**

**Сурет 2. Қолдар интрузивті массивінің схемаланған геологиялық картасы [7].**

**Figure 2. Schematic geological map of the Koldar intrusive massif [7].**

**Рис. 2. Схематическая геологическая карта Колдарского интрузивного массива [7].**

**Материалдар және әдісі**

Алға қойылған міндет үшін ол ағымдағы геологиялық білімді кеңейтуге және әлеуетті орындардың басымды-

ғын айқындау арқылы барлаудың болашақ кезеңдерін басқаруға мүмкіндік беретін қашықтықтан зондау әдістері пайдаланылды. Бастапқы деректер ретінде, зерттеу аумағын бір кадрмен жабатын және кеңістіктік дәлдігі 12,5 м болатын ALOS жер бедерінің сандық үлгісі талданды.

Геологиялық линеаменттерді 2 әдіспен анықтауға болады: қолмен істелетін және автоматты түрде. Геологиялық линеаменттерді анықтау қолмен істелетін интерпретациялауға (визуалды түрде, маманның тәжірибесіне көбірек тәуелді) қарағанда, автоматты түрде тезірек және тиімдірек болып саналады. Геологиялық мағынаны білдіретін линеаменттерді дәл анықтау күрделі тапсырма болып табылады. Ол анықталған сызықтарды мұқият бақылап, оларды геологиялық емес сызықтармен шатастырмау үшін өңдеуші маманның зерттелетін аймақтың геологиялық құрылымы туралы көбірек тәжірибе мен білімнің болуын талап етеді.

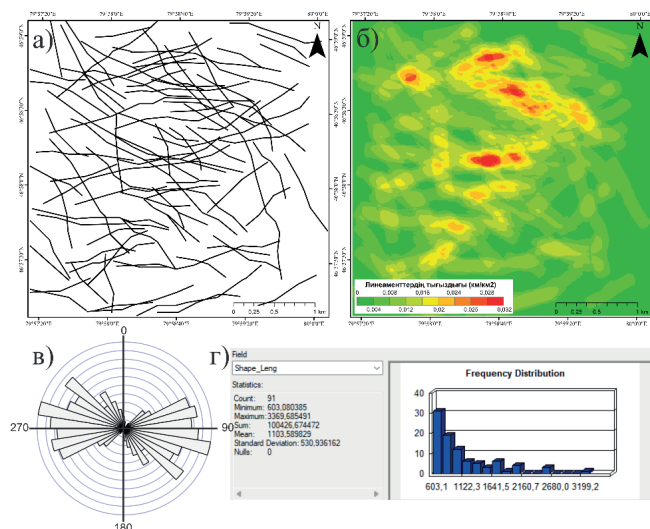
Зерттеуде PCI Geomatica бағдарламалық өнімінің LINE модулі арқылы автоматты түрде анықтау әдісі қолданылды. Бұл алгоритмдер үш кезеңмен орындалды: шекараны анықтау, шекті анықтау және қисықты алу. LINE модулі кескіннен линеаменттерді шығарып, алты параметрмен векторлық пішінге түрлендіреді. Бұл зерттеуде мүмкін болатын жарылым сызықтарын анықтау үшін ұзындығы 600 м-ден астам линеаменттер қаралды. Қалған шектер зерттеулердің ұсыныстарынан алынды. Әрбір параметрге берілген мәндер тіркелмеді, олар жергілікті жерге және оның топографиясына, талданатын бейненің түріне және дәлдігіне байланысты ерекшеленетін болады.

Автоматты өңдеу кезеңінде алынған векторлық нәтижелер «жалған» құрылымдар – жолдар, темір жолдар, ғимараттар және т.б. сияқты болуына қолмен талдау кезеңінен өтеді., сонымен қатар жоғарғы ажыратымдылықтарға ие суреттермен көзбен салыстырылып тексерулерден өтеді. Нәтижесінде RockWorks бағдарламасында линеаменттердің азимуттық бағдарының тенденциясын анықтау үшін роза-диаграммалар жасалды. Сонымен қатар, ArcGIS-тегі тығыздық құралының көмегімен линеаменттер тығыздығының картасы жасалды. Бұл құрал тығыздық шамасын ұзындықты ұяшық ауданына бөлу жолымен есептеген, өлшем бірлігі  $\text{км}/\text{км}^2$  пайдаланылды.

### Нәтижелер

Линеаменттер 12,5 метрлік ALOS жер бедерінің сандық үлгісін көлеңкелік кескіндеу суретіндегі үш бағытынан алынды. Линеаменттерді автоматты түрде алу және қолмен жасалатын әдіспен іріктеу нәтижесінде ұзындығы 3370 метрге дейін жететін 91 объекіден тұратын линеаменттік өріс алынды. Келесі кезең линеаменттердің тығыздығын есептеуді және роза-диаграммаларды құруды қамтитын линеаменттік өрістің сандық көрсеткіштерін есептеу болып табылды (3а-сурет). ALOS DEM бойынша линеаменттердің тығыздығын картаға түсіру зерттелетін аумақтың тектоникалық жарылымдарын анықтады, олар осы жұмыста жер қыртысының жарылымдары ретінде түсіндіріледі. Бұл жарылымдар сызықтық сипатқа және зерттелетін

аумақтың жер қыртысының құрылымдарымен байланысты барлық сипаттамаларға ие. Линеаменттердің есептік тығыздығы 0-ден  $0,032 \text{ км}/\text{км}^2$ -ге диапазоны аралығында ауытқиды, бірақ  $0,004$ -тен  $0,032 \text{ км}/\text{км}^2$ -ге дейінгі ауқым зерттеу үшін барынша қызығушылық тудырады (3б-сурет).



**Сурет 3. (а) Линеаменттік өріс, (б) линеаменттердің тығыздығы, (в) линеаменттердің роза-диаграммасы, (г) линеаменттің ұзындығына арналған гистограмма кестесі.**

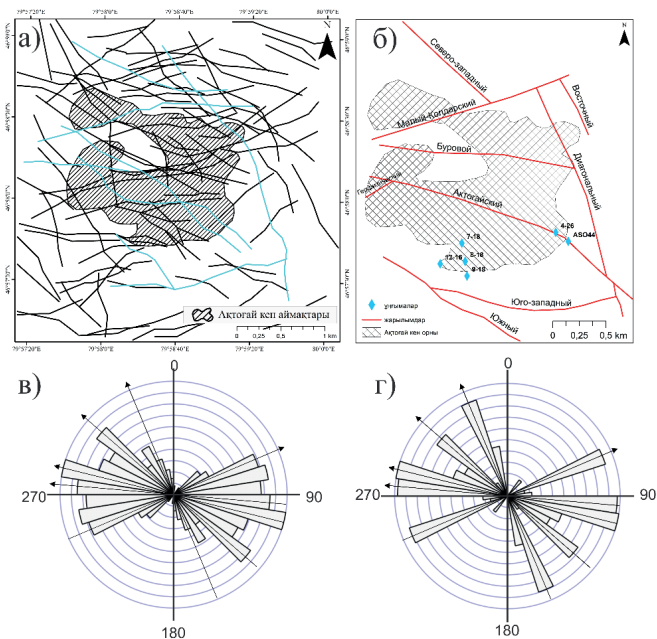
**Figure 3. (a) Lineament field, (b) lineament density, (c) lineament rose diagram, (d) lineament length histogram.**

**Рис. 3. (а) Поле линеаментов, (б) плотность линеаментов, (в) роза-диаграмма линеаментов, (г) гистограмма длины линеаментов.**

Линеаменттердің ұзындығы, жиілігі және таралуы сияқты негізгі сипаттамаларын анықтау үшін талдау жүргізілді. Осындай сипаттамалардың бірі солтүстік-батыс және солтүстік-шығыс бағыттағы жарықшақтықтың басым екенін көрсететін линеаменттік өріс негізіндегі роза-диаграмма болып табылады (3в-сурет). Линеамент ұзындығына арналған гистограмма кестесі зерттелетін ауданда линеаменттер ұзындықтарының бөлінуін визуалды бейнелеуді білдіреді. Кестеде шыңдардың болуы 600-ден 1000 метрге дейінгі диапазондағы линеаменттер зерттелетін аумақта басым екенін көрсетеді (3г-сурет).

Валидация үшін Қолдар интрузивтік массиві мен Ақтоғай кенорнының схемаланған геологиялық картасынан алынған жарылымдарға арналған роза-диаграмма жасалды (2, 3-суреттер). Роза-диаграммада (4в-сурет) көрсетілген жарылымдар солтүстік-шығыс, субендік және солтүстік-батыс бағыттарына сәйкес келетін 4 басым бағытта жайылу үрдісіне ие.

Суреттерде белгіленген линеаменттер жарылымдардың, жарықшақтардың, мыжылу аймақтарының және басқа да геологиялық дислокациялар болуы мүмкіндігін көрсетеді, бұл минералдану процестеріне әсер етуі мүмкін негізгі аспект болып табылады. Сондықтан басқа әдістермен кешенді қолданылғанда құрылымдық талдау кенбілімдер индикаторларының бірі бола алады.



**Сурет 4. (а) Линементтік өріс, (б) Ақтоғай кенорнының жарылымдары мен тарихи ұңғымаларының схемасы, линементтердің зерттелетін аумағының роза-диаграммасы ALOS DEM (в) деректері және жарылымдар схемалары (г).**

**Figure 4. (a) Lineament field, (b) fault diagram and historical wells of the Aktogay field, (c) rose diagrams of lineaments and fault diagrams (d).**

**Рис. 4. (а) Поле линементов, (б) схема разломов и исторических скважин месторождения Ақтоғай, (в) роза-диаграммы линементов и схемы разломов (г).**

**Нәтижелерді талқылау**

Пайдалы қазбалардың жаңа кенорындарын табу мәселесін ескере отырып, атап айтқанда, жергілікті кенбақылаушы құрылымдары үшін құрылымдық ерекшеліктерге негізделген жаңа болжамды-іздістіру модельдерін әзірлеу және енгізу аса өзекті. Жарылымдардың әртүрлі аймақтарындағы металлогения геологиялық уақыт пен кеңістікте металдардың жинақталуына әсер ететін көптеген қолайлы факторлардың үйлесімімен анықталады. Жер қыртысының жарылымы жүйелері кенді ерітінділер мен органикалық қосылыстардың көші-қон жолдары болып табылады, сондай-ақ пайдалы қазбалардың кенорындарын қалыптастыруға қатысады немесе оған жағдай жасайды [9]. Бұл үзілісті құрылымдарды гидротермальды генезисті минералдануды бақылау үшін айқындаушы факторларының бірі ретінде қарауға мүмкіндік береді. Гидротермальды кен денелері мен жарылымдардың кеңістіктік-генетикалық байланысы туралы гипотеза кенорындарын болжау міндеттерін шешу үшін неғұрлым перспективалы болып қарастырылады.

Нақты аумақтың үзілісті жарылымдарының жалпы ансамблі арасында кенбақылаушы және рудалы құрылымдарды анықтау қарастырылатын аумақ үшін эталондық объектілер рөлін атқаратын игеріліп жатқан кенорындарын жан-жақты зерттеу арқылы мүмкін болады. Зерттеу

жұмыстары жағдайында эталондық объектілер ретінде Ақтоғай мысты порфир кенорны болып табылады.

Қойылған міндеттің идеясы жер бетіндегі тереңдік тектоникалық бұзылыстарды көрсететін линементтерді сәйкестендіруден тұрады. Бұл линементтер өз кезегінде вертикалды өткізгіш құрылымдар (арналар) болып табылады, олар бойынша флюидтер магмалық ошақтан тыстың үстіңгі қабаттарындағы рудалық құрылымдарға ауысқан.

Линементтер тығыздығының картасы Ақтоғай кенорнының аумағындағы жарықшақтар мен жарылымдардың саны көптігін көрсетеді (4-сурет), бұл жоғары өткізгіш аймақтардың болуын сипаттайды. Жер бедерінің сандық үлгісінің көмегімен линементтерді анықтау Ақтоғай кенорнына қатысты бағыты 305°, ал ұзындығы шамамен 2,5 км болатын рудалық денені қабаттар бойымен кесіп өтетін линементті анықтауға мүмкіндік берді. Сонымен қатар, бағыты 334° болатын солтүстік-батыс сызық анықталды, оның кен денесінің шығыс жағында ұзындығы 3 км-ден астам. Бұл линемент 4-суреттегі жарылымға сәйкес келеді, ол «диагональді» деп белгіленген, ал геологиялық есепте Икбас деп аталады. Кен денесі солтүстік және оңтүстік бөліктерінде солтүстік-шығыс бағыттағы бағыты 260° және ұзындығы 2 км-ден асатын линементтермен шектелген. Ақтоғай кенорнының сызбасынан көрініп тұрғандай, бұл линементтер Майлы-Қолдар және Оңтүстік-Қолдар жарылыстарын көрсетеді. Жоғарыда сипатталған линементтердің барлығы ғалымдардың диссертацияларда сипатталған жарылым тектоникасының және кенді реттейтін жарылымдардың сипаттамасымен сәйкес келеді [6, 7, 10].

Бұл бағыттар сандық көрсеткіштерде, атап айтқанда линементтер тығыздығы мен роза-диаграммада ерекшеленеді.

Агіфін және әріптестерінің (2021) зерттеуінде автоматты түрде сызықтық құрылымдарды анықтау дәлдігі RMSE арқылы бағаланып, әр түрлі сенсорларға байланысты шамамен 1,66 км ден 2,76 км ге дейінгі көрсеткіштер алынған. Ал біздің зерттеуде RMSE мөлшері 51,25 м болып, айтарлықтай аз – себебі біздің жұмысымыз локалдық масштабта, жоғары ажыратымдықтағы деректерге негізделген.

Алынған нәтиже перспективада геологиялық құрылымдарды неғұрлым толық және дәл талдау үшін қашықтықтан зерделеу, геофизика, геохимия және далалық бақылау деректерін біріктіретін кешенді болжамдық-іздістіру моделін құруда минералдану белгілерінің бірі ретінде қатысатын болады.

Далалық жұмыстар кезінде картаға түсірілетін құрылымдық элементтер неғұрлым дәл және сенімді болып табылғанымен, қашықтықтан құрылымдық талдаудың мүмкіндіктері өңірлік және жергілікті масштабта ізденістер жүргізуге мүмкіндік береді, бұл зерттеу аумағын және геологиялық барлау жұмыстарының құнын айтарлықтай тартылады.

**Қорытынды**

Зерттеу барысында автоматты түрде Ақтоғай кенорнының геологиялық объектілерін көрсететін линементті сызықтарды анықтау нәтижелері алынды. Бастапқы деректер ретінде ALOS жердің сандық үлгісі қолданылды. Өңдеу

барысында ұзындығы 600 метрден 3370 метрге дейінгі 91 линеамент анықталды. Анықталған линеаментті сызықтар солтүстік-батыс, солтүстік-шығыс және ендіктік бағытқа қарай айтарлықтай тенденцияны көрсетті, бұл алдыңғы геологиялық зерттеулердің нәтижелеріне сәйкес келеді.

Келесі кезеңде Ақтоғай кенорны шегінде геологиялық және тектоникалық маңызын тереңірек түсінуге мүмкіндік беретін линеаменттердің тығыздығын және бағдарын талдау болды. Рудалық дененің солтүстік және орталық бөлігінде линеаменттердің жоғарғы тығыздығы байқалды. Аталған бөліктер Ақтоғай, Кіші Қолдар және Икбас жарылымдар секілді аймақтық құрылымдарға қатысты.

Деректердің бұл жан-жақты талдануы зерттелетін аймақтағы линеамент популяциясының түбегейлі сипаттауға мүмкіндік берді, линеамент ұзындығы диапозонының кең ауқымын қамти отырып, қазіргі геологиялық ерекшеліктер туралы құнды түсінік берді.

Осы зерттеуде пысықталған әдістеме территориясы үлкен, қол жеткізу қиын өңірлерде немесе ашылымдар саны аз өңірлерде геологиялық линеаменттерді алу және талдау үшін тиімді құрал болуы мүмкін. Бұл геологиялық, тау-кен барлау жұмыстарының бірінші кезеңінде зерттелетін аумақ туралы құрылымдық ақпарат жинау барысында

уақытты оңтайландыруға және шығындарды қысқартуға мүмкіндік береді. Бұдан басқа, тектоникалық аймақтарды анықтау үшін геокеңістік деректерді талдаумен (ұзындығы, тығыздығы, бағдары) линеаменттерді жартылай автоматты алуды үйлестіретін әдісті ұсынылады. Құрылымдық талдау басқа зерттеулермен бірге зерттелетін аумақтағы құрылымдық деформациялардың индикаторлары және перспективалы аймақтарды егжей-тегжейлі барлау үшін ретінде пайдаланылуы мүмкін.

Линеаменттік талдаудың дәлдігі мен нақтылығын арттыру үшін дәстүрлі далалық зерттеулермен және валидациялаумен кешенді біріктіру ұсынылады. Бұл қателіктерді азайтуға және жергілікті жердің барлық геологиялық ерекшеліктерін ескеруге мүмкіндік береді. Өрбір геологиялық өңірдің линеаменттердің қалыптасуы мен пайда болуына әсер ететін өзіндік ерекшеліктері болуы мүмкін. Өңірлік геологиялық жағдайларға алдын ала талдау жүргізу және әдістемені нақты жағдайларға бейімдеу туралы ұсыныс жасалынды.

#### АЛҒЫС

**Зерттеу Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігі Ғылым комитетінің қаржылық қолдауымен орындалды (ЖТН BR21882179).**

#### ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Удхи Ч. Нугрохо, Тьяхжанингсих А. Минералды әлеуетті аймақтарды болжау үшін DEM SRTM деректерін пайдаланып сызықтық тығыздық туралы ақпаратты алу // Қашықтан зондтау және Жер туралы ғылымдардың халықаралық журналы. 2016. № 13 (1). Б. 67–74 (ағылшын тілінде)
2. Марокконың орталық жоғары атласындағы ASTER GDEM және Landsat 8 кескін деректерін біріктіру арқылы геологиялық сызықтарды алу және талдау / Абделухед Ф. [және т. б.] // Табиғи қауіптер. 2022. № 111. Б. 1907–1929 (ағылшын тілінде)
3. Бикелелейрон кен орнында (Чайоу массиві, Конго Республикасы) линияменттерді алу және палеострессерді талдау: ALOS PALSAR DEM және далалық зерттеу деректерін біріктіру / Ярсе Бродивье Мавунгу [және т. б.] // Жер жүйелері мен орталарын модельдеу. 2024. № 10. Б. 1993–2009 (ағылшын тілінде)
4. Ахмади Х., Уйгуджил Х. Қашықтан зондтау әдістерін пайдалана отырып, гидротермиялық өзгерістерді картаға түсіру арқылы Кабула блогындағы (Оңтүстік-Шығыс Ауғанстан) келешегі бар темір кен орындарын нысанаға алу // Араб геоғылымдары журналы. 2021. № 14. Б. 183 (ағылшын тілінде)
5. Темір кен орындарының геохимиялық сипаттамасы және жартылай құрғақ аймақтағы Landsat-8 деректерін өңдеу (геология, геоморфология және линиялар) және геокеңістіктік әдістерді қолдану / Лакшми Кешава Киран Кумар [және т. б.] // Үлгі. Жер жүйесі. Қоршаған орта. 2020. № 6. Б. 1245–1252 (ағылшын тілінде)
6. Калинина А.М., Сейров Ф.Е. Ұландырық және Ақсай (Таулы Алтай) мыс рудасының геологиялық-өнеркәсіптік типі туралы // Геология және жер қойнауын пайдалану мәселелері. 2023. № 1. Б. 84–85 (орыс тілінде)
7. Қалиева А.С. Ақтоғай мыс кен орнының кендері мен негізгі жыныстарының материалдық құрамын спектроскопиялық әдіспен бағалау: маг. дис., Алматы, 2021. 60 б. (орыс тілінде)
8. Элисанте Элисаймон Мишу. Цифрлық биіктік моделін (DEM) пайдаланып геологиялық құрылымдарды картаға түсіру – туынды ағын бағыты: Рунгве жанартаулық провинциясының жағдайлық зерттеуі, Танзанияның оңтүстік-батысы // Танзания ғылым журналы. 2020. № 46 (1). Б. 101–115 (ағылшын тілінде)
9. Stativa A.S., Trofimenko S.V., Grib N.N. Алдан қалқанының тектоникасы туралы бұрыннан бар ойларды талдау // Тау-кен ақпараттық-аналитикалық бюллетень. 2006. Б. 171–192 (in Russian)
10. Отарбай С.О. Ақтоғай мыс порфирлі кен орны кендерінің геологиялық құрылымы мен материалдық құрамы: маг. дис., Алматы, 2020. 33 б. (орыс тілінде)

## REFERENCES

1. Udhi C. Nugroho, Arum Tjahjaningsih. Lineament density information extraction using DEM SRTM data to predict the mineral potential zones // *International Journal of Remote Sensing and Earth Sciences*. 2016. No. 13 (1). 67–74 (in English)
2. Extraction and analysis of geological lineaments by combining ASTER-GDEM and Landsat 8 image data in the central high atlas of Morocco / Abdelouhed F. [et al.] // *Natural Hazards*. 2022. No. 111. 1907–1929 pp. (in English)
3. Lineament extraction and paleostress analysis in the Bikéléléiron deposit (the Chaillu Massif, Republic of Congo): integration of ALOS-PALSAR DEM and field investigation data / Yarsé Brodivier Mavoungou [et al.] // *Modeling Earth Systems and Environment*. 2024. No. 10. 1993–2009 pp. (in English)
4. Ahmadi H., Uygucgil H. Targeting iron prospective within the Kabul Block (SE Afghanistan) via hydrothermal alteration mapping using remote sensing techniques // *Arab J Geosci*. 2021. No. 14. 183 p. (in English)
5. Geochemical characteristics of iron ore deposits and processing of Landsat-8 data (geology, geomorphology and lineaments) in semi-arid region and using geospatial techniques / Lakshmi Keshava Kiran Kumar [et al.] // *Model. Earth Syst. Environ*. 2020. No. 6. 1245–1252 pp. (in English)
6. Kalinina A.M., Seyrov F.E. O geologo-promyshlennom tipe mednykh rud Ulandyryka i Aksaiskogo (Gornyi Altai) [On the geological and industrial type of copper ores of Ulandyryk and Aksay (Mountain Altai)] // *Problemy geologii i nedropol'zovaniya* [Problems of geology and subsoil use]. 2023. No. 1. 84–85 pp. (in Russian)
7. Kalieva A.S. Spektroskopicheskaya otsenka veshchestvennogo sostava rud i korennykh porod Aktogaiskogo mednogo mestorozhdeniya: dokl. dis. [Spectroscopic assessment of the material composition of ores and bedrock of the Aktogay copper deposit: report. diss.], Almaty, 2021. 60 p. (in Russian)
8. Elisante Elisaimon Mshiu. Mapping of the Geological Structures Using Digital Elevation Model (DEM)-Derived Flow Direction: A Case Study of Rungwe Volcanic Province, Southwest Tanzania // *Tanzania Journal of Science*. 2020. No. 46 (1). 101–115 pp. (in English)
9. Stativa A.S., Trofimenko S.V., Grib N.N. Analiz ranee sushchestvovavshikh predstavlenii o tektonike Aldanskogo shchita [Analysis of previously existing ideas about the tectonics of the Aldan Shield], *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'* [Mining information and analytical bulletin]. 2006. 171–192 p. (in Russian)
10. Otarbay S.O. Geologicheskoe stroenie i veshchestvennyi sostav rud Aktogaiskogo medno-porfirovogo mestorozhdeniya: dokl. dis. [Geological structure and material composition of ores of the Aktogay copper-porphyry deposit: report. diss.], Almaty, 2020. 33 p. (in Russian)

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Udhi C. Nugroho, Arum Tjahjaningsih. Извлечение информации о плотности линеаментов с использованием данных DEM SRTM для прогнозирования зон минерального потенциала // *Международный журнал дистанционного зондирования и наук о Земле*. 2016. № 13 (1). С. 67–74 (на английском языке)
2. Извлечение и анализ геологических линеаментов путем объединения данных ASTER GDEM и изображений Landsat 8 в центральном высоком атласе Марокко / Abdelouhed F. [и др.] // *Природные опасности*. 2022. № 111. С. 1907–1929 (на английском языке)
3. Извлечение линеамента и анализ палеонапряжений на месторождении Бикелелейрон (массив Шайю, Республика Конго): интеграция данных ЦМР ALOS PALSAR и полевых исследований / Ярсе Бродивье Мавунгу [и др.] // *Моделирование земных систем и окружающей среды*. 2024. № 10. С. 1993–2009 (на английском языке)
4. Ахмади Х., Уйгуджил Х. Нацеливание перспективных месторождений железа в пределах Кабульского блока (ЮВ Афганистан) с помощью картирования гидротермальных изменений с использованием методов дистанционного зондирования // *Arab J Geosci*. 2021. № 14. С. 1833 (на английском языке)
5. Геохимические характеристики месторождений железной руды и обработка данных Landsat-8 (геология, геоморфология и линеаменты) в полусухих регионах с использованием геопространственных методов / Лакшми Кешава Киран Кумар [и др.] // *Model. Earth Syst. Environ*. 2020. № 6. С. 1245–1252 (на английском языке)

6. Калинина А.М., Сейров Ф.Е. О геолого-промышленном типе медных руд Уландырыка и Аксайского (Горный Алтай) // Проблемы геологии и недропользования. 2023. № 1. С. 84–85 (на русском языке)
7. Калиева А.С. Спектроскопическая оценка вещественного состава руд и коренных пород Актогайского медного месторождения: докл. дис., Алматы, 2021. 60 с. (на русском языке)
8. Elisante Elisaimon Mshiu. Картографирование геологических структур с использованием направления потока, полученного с помощью цифровой модели рельефа (ЦМР): исследование вулканической провинции Рунгве, юго-запад Танзании // Tanzania Journal of Science. 2020. № 46 (1). С. 101–115 (на английском языке)
9. Статива А.С., Трофименко С.В., Гриб Н.Н. Анализ ранее существовавших представлений о тектонике Алданского щита // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2006. С. 171–192 (на русском языке)
10. Отарбай С.О. Геологическое строение и вещественный состав руд Актогайского медно-порфирового месторождения: докл. дис., Алматы, 2020. 33 с. (на русском языке)

**Авторлар туралы мәліметтер:**

**Талгарбаева Д.Н.**, техника ғылымдарының магистрі, ЖШС «Ионосфера институты», аға ғылыми қызметкері (Алматы қ., Қазақстан), [turbekova.d.n@gmail.com](mailto:turbekova.d.n@gmail.com); <https://orcid.org/0000-0001-5747-8978>

**Серикбаева Э.Б.**, техника ғылымдарының магистрі, ЖШС «Ионосфера институты», аға ғылыми қызметкері (Алматы қ., Қазақстан), [elya\\_sb@inbox.ru](mailto:elya_sb@inbox.ru); <https://orcid.org/0009-0001-3475-8931>

**Орынбасарова Э.О.**, Ph.D, Satbayev University, қарасты геоматика саласындағы инновациялар орталығының жетекшісі (Алматы қ., Қазақстан), [e.orynbassarova@satbayev.university](mailto:e.orynbassarova@satbayev.university); <https://orcid.org/0000-0001-6421-4698>

**Information about the authors:**

**Talgarbayeva D.**, Master of Technical Sciences and Senior Researcher at the Institute of Ionosphere (Almaty, Kazakhstan)

**Serikbayeva E.**, Master of Technical Sciences and Senior Researcher at the Institute of Ionosphere LLP (Almaty, Kazakhstan)

**Orynbassarova E.**, Ph.D, head of the Geomatics Innovation Center at Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

**Сведения об авторах:**

**Талгарбаева Д.Н.**, магистр техн. наук, ст. научн. сотрудник ТОО «Институт ионосферы» (г. Алматы, Казахстан)

**Серикбаева Э.Б.**, магистр техн. наук, ст. научн. сотрудник ТОО «Института Ионосферы» (г. Алматы, Казахстан)

**Орынбасарова Э.О.**, Ph.D, руководитель Центра инноваций в области геоматики при Satbayev University (г. Алматы, Казахстан)