



Shoxrux ZIYABOV,

Tayanch doktorant, O'zbekiston Milliy universiteti, Toshkent, O'zbekiston

E-mail: ziyabovsh1992@gmail.com, ORCID: 0000-0001-8821-8693

PhD E.Yadigarov taqrizi asosida

GEOELECTRICAL AND GEOMAGNETIC CRITERIA FOR DELINEATING FLUID-CONDUCTIVE ZONES IN THE TAMDITAU-BELTAU REGION

Annotation

The article systematizes the scientific and methodological foundations for the use of geo - electrical and geomagnetic data in identifying crustal fluid - mineralization systems within the Tamditau - Beltau mining region. It is taken into account that geoelectrical anomalies may be associated with fluid-saturated fractured media, sulfide mineralization, or graphitization; however, low electrical resistivity values may also result from the presence of clay minerals, mineralized groundwater, and lithological factors. Geomagnetic anomalies, in turn, may indirectly reflect magnetite-bearing rocks and intrusive bodies, as well as the formation or destruction of magnetic minerals caused by hydrothermal alteration.

Keywords: Tamditau-Beltau, crustal fluids, geoelectric field, geomagnetic field, electrical resistivity, mineralization.

ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ГЕОМАГНИТНЫЕ КРИТЕРИИ ВЫДЕЛЕНИЯ ФЛЮИДОПРОВОДЯЩИХ ЗОН В ТАМДИТАУ-БЕЛТАУСКОМ РЕГИОНЕ

Аннотация

В статье систематизируются научно-методические основы использования геоэлектрических и геомагнитных данных для выявления коровых флюидно-рудобразующих систем в Тамдитау-Бельтауской горнорудной области. Учитывается, что геоэлектрические аномалии могут быть связаны с флюидонасыщенной трещиноватой средой, процессами сульфидизации или графитизации, однако пониженные значения удельного электрического сопротивления могут также быть обусловлены наличием глинистых минералов, минерализованных подземных вод и литологическими факторами. Геомагнитные аномалии, в свою очередь, могут косвенно отражать распространение магнетитсодержащих пород и интрузивных тел, а также процессы образования или разрушения магнитных минералов в результате гидротермальных преобразований.

Ключевые слова: Тамдитау-Бельтау, коровые флюиды, геоэлектрическое поле, геомагнитное поле, удельное электрическое сопротивление, оруденение.

TOMDITOV-BELTOV MINTAQASIDA FLYUID-O'TKAZUVCHI ZONALARNI AJRATISHNING GEOELEKTRIK VA GEOMAGNIT MEZONLARI

Annotatsiya

Maqolada Tomditov - Beltov tog'-kon mintaqasida qobiq flyuid-ma'danlashuv tizimlarini aniqlashda geoelektrik va geomagnit ma'lumotlardan foydalanishning ilmiy-metodik asoslari tizimlashtiriladi. Geoelektrik anomalialar flyuidga to'yingan darzlangan muhit, sulfidlanish yoki grafitlanish bilan bog'liq bo'lishi mumkinligi, biroq gil minerallari, mineral suvlar va litologik omillar ham past solishtirma elektr qarshilikni yuzaga keltirishi mumkinligi hisobga olinadi. Geomagnit anomalialar esa magnetitli jinslar va intruziv tanalarni, shuningdek gidrotermal o'zgarish natijasida magnit minerallarining hosil bo'lishi yoki parchalanishini bilvosita aks ettirishi mumkin.

Kalit so'zlar: Tomditov-Beltov, qobiq flyuidlari, geoelektrik maydon, geomagnit maydon, solishtirma elektr qarshilik, ma'danlashuv.

Kirish. Burmalangan va kollizion orogenlarda ma'danlashuv ko'pincha litosfera hamda yer qobig'i miqyosidagi yoriqlar, deformatsion zonalar, flyuid hosil bo'lishi va migratsiyasi, shuningdek tog' jinslari bilan kechadigan fizik-kimyoviy reaksiyalarning o'zaro ta'siri natijasida shakllanadi. Orogen tizimlarda yirik yoriqlar va siljish zonalar birlamchi flyuid yo'llari vazifasini bajarishi, ma'dan tanalari esa ko'pincha ularga tutash ikkilamchi strukturalar, yoriqlar kesishmalari, litologik yoki reologik kontrastlar bilan nazorat qilinishi ko'rsatilgan [2-5].

Biror geofizik anomaliya ma'danlashuvning bevosita isboti emas; uning qiymati boshqa mustaqil belgilar bilan fazoviy va genetik moslik darajasiga bog'liq [1,4].

Markaziy Qizilqum va Janubiy Tyan-Shanning g'arbiy qismi ko'p bosqichli paleozoy tektonik deformatsiyasi, magmatizm va gidrotermal jarayonlar bilan tavsiflanadi. Muruntov oltin koni hamda unga tutash Tomditov hududi haqidagi tadqiqotlar mintaqaviy va ikkilamchi strukturalarning ma'danlashuvni lokalizatsiyalashdagi rolini ko'rsatadi [11-13].

Mavzuga oid adabiyotlar tahlili. Tomditov-Beltov mintaqasi ushbu ishda Markaziy Qizilqum va unga tutash Janubiy Tyan-Shan burmali-mintaqaviy tizimining tarkibiy qismi sifatida qaraladi. Mintaqa yosh va tarkibli terrigen, karbonat, vulkanogen hamda metamorfik majmualar ko'p bosqichli burmalanish, surilmalar va yoriqlar bilan murakkablashgan [12,13,15].

Yoriqlar kesishgan tugunlar, burma qanotlari, litologik kontaktlar va reologik kontrastlar bosimning lokal o'zgarishi, darzlanish va flyuid-tog' jinsi reaksiyalarini kuchaytirishi sababli ma'dan cho'kishi uchun qulay muhit yaratishi mumkin [3,11-13].

Mintaqada granitoid va boshqa intruziv tanalarning mavjudligi muhim strukturaviy va termal omil hisoblanadi. Biroq geomagnit yoki geoelektrik ma'lumotlarning o'zi intruziyani ma'dan hosil qiluvchi flyuidning bevosita manbai sifatida isbotlay olmaydi. Shu sababli Tomditov–Beltov mintaqasida intruziya, struktura, o'zgarish va geofizik masalalarning o'zaro bog'liqligi tekshirilishi lozim [5,6,12].

Tadqiqot metodologiyasi. Tadqiqot bazasini regional geologik xaritalar va tektonik sxemalar, magnitorazvedka va elektrorazvedka materiallari, mavjud magnetotellurik yoki boshqa elektromagnit zondlash natijalari, gravimetrik ma'lumotlar, intruziv tanalar va ma'dan namoyonlari haqidagi fond hamda nashr etilgan materiallar tashkil etadi.

Talqin algoritmi besh bosqichdan iborat: (1) geologik-strukturaviy karkasni tuzish; (2) geoelektrik o'tkazuvchan zonalar va keskin qarshilik kontrastlarini ajratish; (3) magnit maydonning lokal maksimum-minimumlari, chiziqli elementlari va gradiyent zonalarini belgilash; (4) geofizik belgilarni intruziyalar, yoriqlar, litologik kontaktlar, o'zgarish zonalar va ma'dan namoyonlari bilan fazoviy solishtirish; (5) mustaqil belgilar soni va geologik mantiqqa muvofiqligi bo'yicha istiqbolli tugunlarni ierarxik tasniflash.

Solishtirma elektr qarshilikning kamayishi flyuid bilan to'yingan darzlangan muhit, ionli o'tkazuvchanlikka ega eritmalar, sulfid minerallari yoki grafitning mavjudligi bilan bog'liq bo'lishi mumkin. Shu sababli past qarshilikli anomaliya "ma'dan zonasi" deb avtomatik talqin qilinmaydi. Gil minerallari, mineral yer osti suvlari, grafitli qatlamlar va ayrim litologik komplekslar ham kuchli o'tkazuvchanlik hosil qilishi mumkin. Kuchli grafitlangan qora slaneslarda qarshilik 0,01–0,2 $\Omega \cdot m$ va undan ham past bo'lishi mumkinligi keltirilgan [9].

Magnit maydon anomaliyalari tog' jinslarining magnit minerallar tarkibi, ayniqsa magnetit va boshqa ferromagnit fazalar miqdori bilan belgilanadi [10].

Janubiy Tyan-Shan hududida taxminan 120–200 km kenglikdagi nisbatan sokin magnit maydon zonasi qayd etiladi; u mintaqaviy elektr o'tkazuvchanlik anomaliyasi bilan qisman mos keladi. Fon maydonida ± 50 nT tartibidagi kuchsiz differentsiallash va ayrim lokal anomaliyalarda taxminan $2,5 \times 10^2$ nT gacha amplitudalar qayd etilgan.

Chiziqli magnit gradiyentlar yoriqlar, daykalar yoki litologik kontaktlarni belgilashi, yopiq yoki yoy shaklidagi anomaliyalar esa intruziv tanalar va strukturaviy bloklarni ko'rsatishi mumkin. Bunday elementlar geoelektrik o'tkazuvchan zonalar bilan kesishganda ular flyuid fokuslanishi mumkin bo'lgan strukturaviy tugun sifatida ko'rib chiqiladi [10,14,15].

Tahlil va natijalar. Mavjud geologik-geofizik konsepsiyalarni Tomditov–Beltov mintaqasiga tadbiiq etish shuni ko'rsatadiki, istiqbolli flyuid-o'tkazuvchi zonalar bitta fizik parametrlar bo'yicha emas, bir-biridan nisbatan mustaqil indikatorlarning fazoviy konvergentsiyasi bo'yicha ajratish maqsadga muvofiq. Birlamchi darajadagi belgilar sifatida mintaqaviy va chuqur yoriqlar, ularning kesishmalari hamda uzoq masofada kuzatiladigan o'tkazuvchan strukturalar qaraladi. Ikkilamchi darajadagi belgilar esa magnit gradiyent, intruziv kontakt, darzlangan litologik chegara, gidrotermal o'zgarish va ma'dan namoyonlari bilan moslikdan iborat bo'ladi.

1-jadval. Flyuid-o'tkazuvchi zonalarini ajratishda asosiy geofizik indikatorlar

Geofizik belgi	Ehtimoliy geologik mazmun	Muqobil izoh	Ishonchlikni oshiruvchi shart
Past qarshilik / yuqori o'tkazuvchanlik	Flyuidga to'yingan darzlar; sulfidlanish; grafitlanish	Gil, mineral suv, uglerodli qatlam, litologiya	Chuqur yoriq bilan moslik; vertikal davomiylik; ma'dan/o'zgarish yaqinligi
Keskin qarshilik gradiyenti	Tektonik yoki litologik chegara; intruziv kontakt	Qoplama qalinligi o'zgarishi; fatsiyalar almashinuvi	Magnit yoki gravimetrik gradiyent bilan fazoviy moslik
Lokal maksimum magnit	Magnetitli intruziya yoki metasomatit	Asosli/ultraasosli jinslar	Strukturaviy tugun, intruziv kontakt va o'zgarish bilan moslik
Lokal minimum magnit	Magnit minerallar parchalanishi bilan bog'liq o'zgarish	Tabiiy kuchsiz magnit litologiya	Atrofda magnit fon va petrofizik ma'lumot bilan tasdiq
Chiziqli magnit gradiyent	Yoriq, dayka, kontakt yoki blok chegarasi	Yuzaki litologik chegara	Geoelektrik anomaliya bilan kesishish
Ko'p usulli anomaliya tuguni	Flyuid fokuslanishi va reaksiya zonasi ehtimoli	Tasodifiy fazoviy ustma-ustlik	Kamida uch-to'rt mustaqil geologik/geofizik belgi va ma'danlashuv konteksti

Jadvaldagi mezonlar diagnostik, ya'ni ehtimollikni oshiruvchi belgilar sifatida qaraladi. Ayniqsa, past qarshilikli zona yirik yoriq bo'ylab chuqurlikka davom etsa, uning yuqori qismida magnit gradiyent yoki intruziv kontakt bilan kesishsa hamda yaqin atrofda gidrotermal o'zgarish yoki ma'dan namoyonlari kuzatilsa, bunday tugunning flyuid-o'tkazuvchi tizimga tegishli bo'lish ehtimoli sezilarli ortadi. Biroq bu natija keyingi dala tekshiruvi, petrofizika, geokimyo va zarur hollarda yuqori aniqlikdagi elektr profil bilan tasdiqlanishi kerak.

Kompleks talqin asosida quyidagi strukturaviy-geofizik konfiguratsiyalar birinchi navbatda tekshirilishi lozim:

- mintaqaviy yoki chuqur yoriqlar bilan mos keluvchi uzluksiz past qarshilikli/o'tkazuvchan zonalar;
- yirik yoriqning ikkilamchi uzilmalar bilan kesishgan joylaridagi magnit va geoelektrik gradiyent tugunlari;
- intruziv tanalar chekka qismlari yoki apofizalari atrofida rivojlangan o'tkazuvchan va magnit jihatdan qayta tuzilgan zonalar;
- litologik yoki reologik kontrastlarda, burma qanotlari va deformatsiya kuchaygan joylarda shakllangan darzlangan kanallar;
- ma'lum ma'dan namoyonlari yoki gidrotermal-metasomatik o'zgarishlar bilan fazoviy bog'langan ko'p usulli anomaliya maydonlari.

Bunday zonalar ichida ma'dan cho'kishi uchun eng qulay joylar flyuid oqimi geometriyasi yoki fizik-kimyoviy sharoit keskin o'zgaradigan tugunlar bo'lishi mumkin. Bosimning pasayishi, flyuidlarning aralashishi, sulfidlanish reaksiyalari, karbonatlashish yoki kremniylanish kabi jarayonlar metallarning eritmadan ajralishiga yordam beradi. Oltinning gidrotermal eritmalarida tashilishi va cho'kishi oltingugurt komplekslari bilan chambarchas bog'liq bo'lib, bu jarayon flyuidning oksidlovchi yoki qaytaruvchi xususiyati, harorat, bosim va jins-flyuid reaksiyalari sezgir hisoblanadi [6–8].

Tomditov - Beltov mintaqasi uchun keyingi prognozlash bosqichida qo'llash mumkin bo'lgan ishchi ierarxiya uch darajadan iborat. A-daraja - chuqur yoriq/strukturaviy tugun + geoelektrik anomaliya + geomagnit gradiyent yoki xarakterli anomaliya + intruziv/o'zgarish omili + ma'danlashuv belgisi bir joyda mos kelgan uchastkalar. B-daraja - kamida uchta mustaqil belgi mos kelgan, ammo metallogenik tasdiq yoki chuqurlik davomiyligi yetarli aniqlanmagan zonalar. C-daraja - bitta yoki ikkita geofizik belgi mavjud bo'lib, ularning geologik sababi noaniq bo'lgan maydonlar. Bu tasnif yakuniy "ball" emas; u keyinchalik real ma'lumotlar statistikasi asosida kalibrlanishi kerak.

2-jadval. Istiqbolli zonalarini dastlabki ierarxik baholash sxemasi

Daraja	Minimal talab	Tavsiya etiladigan keyingi ish
A - yuqori ustuvorlik	4–5 mustaqil strukturaviy, elektr, magnit, magmatik/o'zgarigan va metallogenik belgining mosligi	Detallashtirilgan EM/MT profil, petrofizika, geokimyo, strukturaviy xaritalash
B - o'rta ustuvorlik	Kamida 3 mustaqil belgi; chuqurlik yoki metallogenik tasdiq cheklangan	Qo'shimcha geofizik profil va dala tekshiruvi
C - past/noaniq ustuvorlik	1–2 belgi; muqobil litologik sabab kuchli	Dastlabki tekshiruv; faqat yangi dalillar paydo bo'lsa ustuvorlashtirish

Tomditov–Beltov mintaqasi uchun taklif etilayotgan modelda mineral tizim besh funksional element orqali tasvirlanadi: (1) flyuid va metallarning ehtimoliy chuqur manbai; (2) qobiqlitosfera miqyosidagi transport kanali; (3) ikkilamchi yoriqlar va strukturaviy tugunlarda flyuidning fokuslanishi; (4) bosim-harorat, oksidlanish hamda qaytarilish va jins-flyuid reaksiyalari o'zgarishi natijasida cho'kish; (5) hosil bo'lgan ma'danlashuvning keyingi tektonik jarayonlarda saqlanishi. Geofizik ma'lumotlar ushbu elementlarning hammasini to'g'ridan-to'g'ri “ko'rmaydi”, balki ularning fizik izlarini - o'tkazuvchanlik, magnitlanish, zichlik va strukturaviy kontrastlarni - qayd etadi.

Modelning chuqur qismida yirik yoriqlar metamorfik hamda boshqa chuqur flyuidlarning yuqoriga ko'tarilishi uchun asosiy o'tkazuvchi yo'llar sifatida qaraladi. Yuqori qobiqda ushbu oqim ikkilamchi uzilmalar, intruziv kontaktlar, burmalar va litologik kontrastlar bo'ylab tarmoqlanadi. Darzlanish va o'zgarish elektr qarshilikni kamaytirishi, sulfid yoki grafitning paydo bo'lishi o'tkazuvchanlikni oshirishi mumkin. Magnit minerallar tarkibining o'zgarishi esa lokal magnit maksimum, minimum yoki keskin gradiyent ko'rinishida namoyon bo'lishi mumkin.

Shu asosda konseptual bog'lanish quyidagicha ifodalanadi: chuqur geodinamik/strukturaviy kanal; flyuid transporti; ikkilamchi strukturalarda fokuslanish; jins-flyuid reaksiyasi va o'zgarish; elektr va magnit xossalarning o'zgarishi; geofizik anomalialar konvergensiya; ma'danlashuv ehtimoli yuqori tugun. Ushbu zanjirda intruziyalar ayrim joylarda termal yoki strukturaviy rol o'ynashi mumkin, biroq ularning genetik roli alohida geoxronologik, geokimyoviy va petrologik dalillar bilan tekshirilishi kerak.

Xulosa va takliflar. Tomditov–Beltov mintaqasida flyuid-o'tkazuvchi zonalarini ajratishda geoelektrik va geomagnit ma'lumotlar alohida emas, geologik-strukturaviy karkas bilan integratsiyalangan holda talqin qilinishi kerak.

Past solishtirma elektr qarshilik flyuidga to'yingan darzlangan muhit, sulfidlanish yoki grafitlanishning muhim belgisi bo'lishi mumkin, biroq gil, mineral suv va litologik omillar sababli u ma'danlashuvning o'ziga xos indikator hisoblanmaydi. Magnit maksimum, minimum va gradiyentlar intruziv tanalar, tektonik kontaktlar va gidrotermal-metasomatik o'zgarishlar haqida muhim axborot beradi; ularning geologik mazmuni mahalliy petrofizik kontekst bilan tekshirilishi lozim.

Janubiy Tyan-Shan hududida taxminan 120–200 km kenglikdagi nisbatan sokin magnit maydoni ± 50 nT tartibidagi kuchsiz differensial magnit anomalialar, shuningdek ba'zi mahalliy anomalialarda taxminan 250 nT gacha keskin o'zgarishlar kuzatilgan. Eng istiqbolli tugunlar chuqur yoki mintaqaviy yoriq, geoelektrik anomaliya, magnit anomaliya, intruziv yoki o'zgarish omili va metallogenik belgilar bir hududda konvergensiya qilingan joylardir. Taklif etilgan konseptual fizik-geologik model va A–B–C ierarxik baholash sxemasi keyingi bosqichda anomalialarni tipizatsiyalash, balli baholash va GIS asosidagi prognoz xaritasini tuzish uchun metodik asos bo'lib xizmat qiladi.

ADABIYOTLAR

- McCuaig T.C., Beresford S., Hronsky J.M.A. Translating the mineral systems approach into an effective exploration targeting system. *Ore Geology Reviews*, 2010, 38(3), 128–138.
- Groves D.I., Goldfarb R.J., Gebre-Mariam M., Hagemann S.G., Robert F. Orogenic gold deposits: A proposed classification in the context of their crustal distribution and relationship to other gold deposit types. *Ore Geology Reviews*, 1998, 13, 7–27.
- Groves D.I., Santosh M., Goldfarb R.J., Zhang L. Structural geometry of orogenic gold deposits: Implications for exploration of world-class and giant deposits. *Geoscience Frontiers*, 2018, 9(4), 1163–1177.
- Groves D.I., Santosh M., Zhang L. A scale-integrated exploration model for orogenic gold deposits based on a mineral system approach. *Geoscience Frontiers*, 2020, 11(3), 719–738.
- Goldfarb R.J., Groves D.I. Orogenic gold: Common or evolving fluid and metal sources through time. *Lithos*, 2015, 233, 2–26.
- Yardley B.W.D., Cleverley J.S. The role of metamorphic fluids in the formation of ore deposits. *Geological Society, London, Special Publications*, 2015, 393, 117–134.
- Pokrovski G.S., Akinfiev N.N., Borisova A.Y., Zotov A.V., Kouzmanov K. Sulfur radical species form gold deposits on Earth. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2015, 112, 13484–13489.
- Prokofiev V.Y., Naumov V.B. Physicochemical Parameters and Geochemical Features of Ore-Forming Fluids for Orogenic Gold Deposits Throughout Geological Time. *Minerals*, 2020, 10(1), 50.
- Jin S., Sheng Y., Liu C., Wei W., Ye G., Jing J., Zhang L., Dong H., Yin Y., Xie C. A Review of Relationship between the Metallogenic System of Metallic Mineral Deposits and Lithospheric Electrical Structure: Insight from Magnetotelluric Imaging. *Minerals*, 2024, 14(6), 541.
- Clark D.A. Magnetic effects of hydrothermal alteration in porphyry copper and iron-oxide copper–gold systems: A review. *Tectonophysics*, 2014, 624–625, 46–65.
- Drew L.J., Berger B.R., Kurbanov N.K. Geology and structural evolution of the Muruntau gold deposit, Kyzylkum Desert, Uzbekistan. *Ore Geology Reviews*, 1996, 11(4), 175–196.
- Kempe U., Graupner T., Seltmann R., de Boorder H., Dolgoplova A., Zeylmans van Emmichoven M. The Muruntau gold deposit (Uzbekistan) – A unique ancient hydrothermal system in the southern Tien Shan. *Geoscience Frontiers*, 2016, 7(3), 495–528.
- Mukhin P., Mirkamalov R., Seltmann R. Structure of the Muruntau gold ore region in the Kyzyl-Kum desert (Central Asia). *International Journal of Earth Sciences*, 2023, 112, 659–683.
- Goipov A.B., Akhmadov Sh.I., Yusupov V.R. Characteristics of geophysical fields and geophysical signs of mineralization in the Bukantau Mountains in the Southern Tien-Shan. *ANAS Transactions, Earth Sciences*, 2024, 2, 77–91.
- Goipov A.B., Ashurov A.U., Atabaev D.Kh. Interpretation of airborne electromagnetic survey data in gold ore prospecting and geodynamic zoning of the Bukantau Mountains (Southern Tien Shan). *Geophysical Research*, 2025, 26(1), 79–97.