

카자흐스탄 카라간다주 케레게타스 광화대 특성

이재호 · 김인준* · 김복철

한국지질자원연구원

Review of the Characteristics of Keregetass Mineralized Zone in the Karaganda Oblast, Kazakhstan

Jae-Ho Lee, In-Joon Kim* and Bok-Chul Kim

Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, Daejeon, 305-350, Korea

1. 서 론

카자흐스탄 에너지·광물자원부(Ministry of Energy and Mineral Resources)와 유한책임회사인 알마스게오(Almasgeo)간의 탐사와 생산에 관한 계약(계약번호 16099)이 2004년 12월 7일 체결되었다. 계약기간은 25년이며, 이 기간은 탐사 기간 5년이 포함된 것이다. 정보 획득을 위한 합의서(번호 1080)는 2004년 2월 17일에 체결되었다.

케레게타스(Keregetass) 광구는 Karaganda주의 Aktogai 지역에 위치한다(Fig. 1). 이 지역은 경제적으로 낙후된 곳으로, 멀지 않은 곳(비포장도로, 차로 약 3시간 거리)에 Moiynty-Balkhash 철도가 있으며, 가장 가까운 인구 밀집 지역은 남서구역 경계부에서 약 5 km 정도 떨어진 곳에 위치하는 Biryuk 기차역 부근이다. 광구의 총 면적은 약 355 km²로 좌표는 다음과 같다;

1. 북위 47°10' - 동경 73°45'
2. 북위 47°20' - 동경 73°45'
3. 북위 47°20' - 동경 74°00'
4. 북위 47°10' - 동경 74°00'

광구는 카자흐 고원의 남단에 해당하며, 고도 500-600 m 및 고저차 60-100 m의 구릉성 평야로 이루어져 있다. 광구 주변에는 남쪽 경계 30 km내에 비나 눈이 저수되어 이루어지는 Moiynty강이 있다. 구역을 통틀어 소금기가 있는 Akkuduk 관정이 하나 존재한다. 식생은 능수버들같은 관목, 작은 관목 및 잡초 등이 분

포하는 반건조대(semi-arid)의 특성을 보인다. 기후는 극한 대륙성 기후의 특징을 보이며, 계절과 일별 온도 차가 매우 심하다. 강우량은 매우 소량(105 mm/년)이며, 여름에는 매우 건조하고 고온(영상 42)이며, 겨울에는 춥고(영하 42), 적설은 11월 중순부터 이듬해 3월 중순까지 발달하는데, 두께는 약 20-30cm에 이른다. 연평균 기온은 약 5.5이며, 연중 바람은 초속 2-4 m의 동풍 또는 북동풍이 우세하게 분다. 때때로 봄과 여름에 매우 강한 돌풍(약 초속 1.5 m 이상)이 불 때도 있다.

광구는 매우 낙후된 지역으로, 비포장도로가 주로 철길을 따라 형성되어 있고, 생필품의 공급은 Biryuk역 까지 철도로 이루어진다.

본 Review에서는 발하쉬(Balkhash) 호수 주변의 케레게타스 광화대에 대한 현장확인과 알마스게오 보고서를 바탕으로 광화대의 분포 특성에 대하여 소개하고자 한다.

1.1. 케레게타스 광화대(도엽번호 L-43-28)

광화대의 광화작용을 규제하는 주요 구조대는 N40°-60°E의 주향을 보이는 Keregetass 심부 단층대로, 이 단층대는 카자흐스탄 중부에서 약 800 km 이상의 연장성을 보이며 발달하는 Bulattau 구조선의 일부분에 해당한다(Fig. 2). 이 단층대는 주로 Kokdombak 복합체를 구성하는 화강섬록암-몬조나이트에서 발달하는데, 이 관입체들은 발하쉬(Balkhash) 호수 지역의 다양한 Cu-Mo-Au-Pb-Zn 광상(반암형, 스카른형, 맥상형)과 성인적으로 밀접한 관계를 보여준다(Kounrad, Aktogai,

*Corresponding author: ijkim@kigam.re.kr

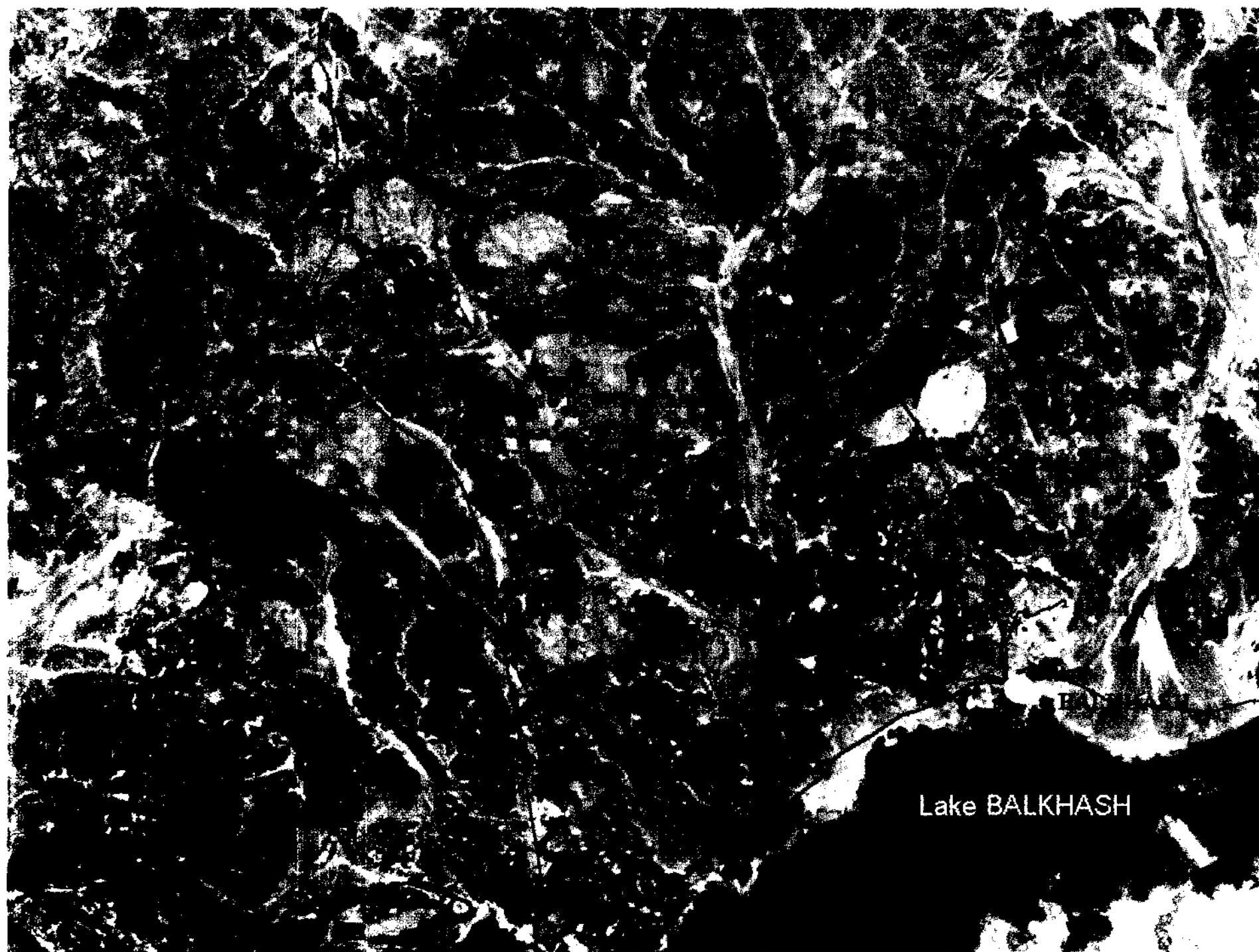


Fig. 1. The satellite image and location of Keregetass block.

Borly, Sayak 광산 등).

과거에도 이 지역과 인접 지역에는 은의 함량이 높은 중소규모의 동광상(Kyzylespe, Akchagyl, Aktemir 등)이 개발되어 왔다. 특히, Aktemir 광상은 탐사지역 내에 위치하고 있다. 잘 알려진 Zhilny 지역의 광상에서는 1860-1890년 사이에 약 3,276 kg의 은을 생산하였고, 부산물로 납을 생산하기도 하였다. 철기 시대의 고대부족은 Keregetass 광상에서 산출되는 자철석-무쉬케토바이트(muschketowite)-적철석 광석을 용융하여 철을 사용하였던 것으로 알려져 있다. 다양한 생성시기와 성인(사일루리아기에서 석탄기-페름기까지)을 갖는 모든 광상과 산출지에서는 Au, Ag, Bi, Mo, Cu, Sn, W, In, Se, Te, U 그리고 Pd 및 Ir 같은 미량원소들이 산출되는 것이 특징이다.

중규모의 반암형 몰리브덴 광상인 Akkuduk-I와 Akkuduk-II는 망상세맥형의 광화작용이 Kokdombak 복합체인 황철석화된 섬장암-몬조나이트에 의해 관입·파쇄된 데본기의 반암에서 발달되고 있다. 이들 광상들에서는 아직 Au, Pd, Ir의 함량은 확인된 바 없다.

케레게타스 구조대의 동일 선상에 위치하며, 허가구역에서 남서쪽으로 약 8 km 떨어져 있는 Biryuk 몰리브덴 광상을 주목할 필요가 있다. 이곳은 1964-65년에

맥상-망상 지역에 대한 예비평가가 이루어져 몰리브덴의 매장량이 25,000 톤임이 규명된 바 있다. 이 중 약 12,000-15,000 톤의 몰리브덴은 0.5-2.0%의 품위를 갖는 석영맥상 광체에 매장되어 있으며, 망상형 광체의 품위는 0.05-0.1%로 분석되었다. 1990-2001년에 재분석된 결과에 의하면, 황철석화된 변질대에서 0.5-1.0%의 품위를 보여주며, 휘수연석에서 이리듐(약 10 g/t) 및 고품위의 레늄(0.005-0.05%)이 산출되었다.

카자흐스탄과 구소련에서는 케레게타스 철광상과 유사한 광상이 현재까지 발견된 적은 없지만, 오스트레일리아의 Tennantin-Krik 금-백금족 광상과 키르기즈스탄의 Kumtor 금광상이 매우 유사한 점을 보여준다. 케레게타스 광상에서는 적철석내에 자연 팔라듐 또는 금속간화합물이 산출되는 특징을 보인다. 이런 이유로, 이 지역에 대한 좀더 확실한 광물학적-지화학적 연구가 수행될 필요성이 대두되고 있다. 케레게타스 광상의 광체는 오르도비스기에서 사일루리아기의 변성 사암 및 이질 세일내 약 80-100 m의 폭을 보이는 좁은 “쐐기” 구조대에서 발달하고 있다. 급경사(70° - 80°)에서 발달하는 철 광체는 판상 및 렌즈상의 특징을 보인다. 단층 대를 따라 분포하는 이들 광체의 전체 길이는 약 1km로, 상부 데본기의 분출암과 선캄브리아기의 화강편마

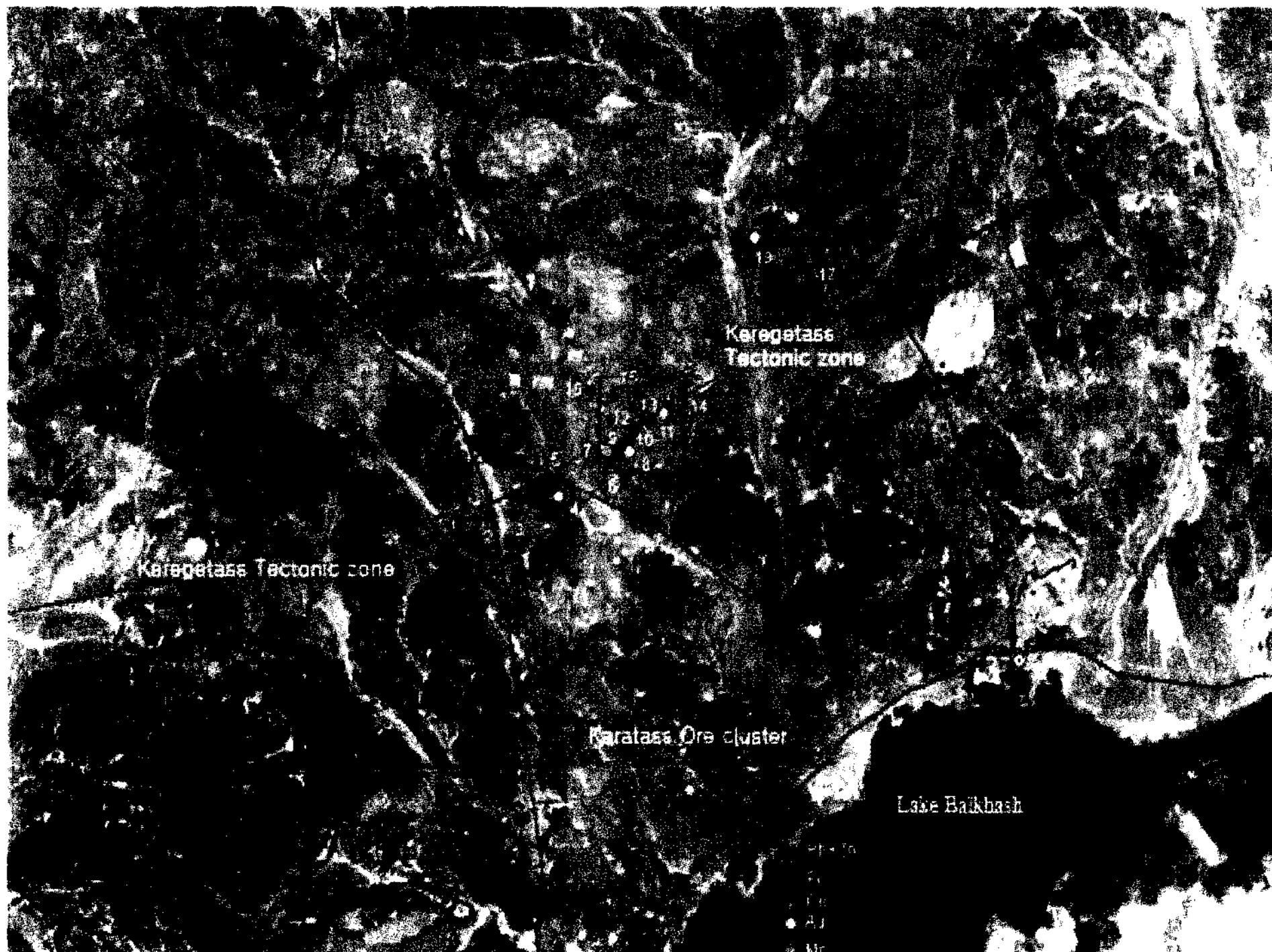


Fig. 2. The distribution map of deposits and occurrences in Keregetass block.

암으로 구성된 모든 모암은 황철석화 및 견운모화되었으며, 모든 곳에서 0.2-0.5 g/t의 금이 산출된다.

규회석 스카른대에서 금 함량이 1.0-1.5 g/t까지 높아지는 Aktemir 광상의 광체에서 동일 양의 금이 산출되는 특징이 있다. 이 광상은 지난 30-40년대에는 주로 연·아연 광화작용을 연구하여 왔는데, 광상은 금 광화작용이 기대되는 오르도비스기-사일루리아기의 함 탄 산염 화산성 육원암으로 구성된 3×5 km 크기의 포획 암과 밀접한 관련성이 있다.

광구내 복배사구조의 경계부에 발달하는 교차 및 아크형의 모든 석영맥에서 채취된 시료에서는 2.0-5.0 g/t의 금이 검출되는 것으로 알려져 있는데, 이에 대한 평가가 이루어지지 못하였다. 석영맥 중 연장이 1.5-2 km에 이른 것도 있다.

다른 성인의 광화작용으로 형성된 Saryobinsk 광체군은 허가구역에서 8-10 km 남서쪽에 위치하고 있으며, 케레게타스 단층대에 위치한다. 170 km² 크기의 광체군은 석탄기-페름기에 화산작용의 결과로 형성되어 진 구조적 함몰대인 케레게타스 함몰대에 분포한다. 함몰대 중앙부에서는 황철석화된 유문암-석영안산암의 각력들로 구성된 화산구조가 나타나며, 환상 단층군에 의해 경계를 이룬다. 황화물의 양은 암석 부피비로 볼 때

15-20% 정도 된다. 역들은(2-5cm) 주로 편마암, 규암, 화강암과 셰일로 구성되며, 일부는 Kokdambak 복합체의 화강섬록암들로 구성된다. 후기 황철석에는 금과 텔루륨이 함유되어 있다. 파쇄시료에서는 황철석과 함께 주로 에렉트럼, 방연석, 섬아연석, 위티처나이트(wittichenite) 그리고 회중석이 산출된다. 자연전위법에 의한 지구물리탐사 결과, 화산암경에 2×2.5 km 범위에서 이상대가 확인되었으며, 중력 탐사에 있어서도 중력차이가 나는 이상대가 국부적으로 확인되었다. 천열 수성 함금은 석영맥(12-15 g/t Au)은 함몰대의 중앙부 50-60 m 깊이에 배태되어 있으며, 주로 괴상의 다금속 광화작용의 특징을 수반한다. 유문상구조를 보이는 반심성암인 조면암질 유문암(trachyliparite) 암주(0.5×0.8 km)는 화산암경의 남부경계를 이루는데, 고온 저압의 석영맥-망상형 주석-텅스텐-금 광화작용을 수반한다. 광체는 15-20 m 폭과 300-400 m의 연장을 보여 주는데, 최대 품위는 금 1,200 g/t, 은 500 g/t, 주석 2.0%, 텁스텐 5.0%, 비스무트 0.1%이다. 금의 경우는 확인분석이 필요한 것으로 사료된다. 2%까지의 품위를 보이는 텔루륨, 셀레늄, 이리듐은 에렉트럼내에서 산출된다. 이런 유형과 유사한 세계 유명광산으로는 Akepobe와 Ikuno(일본) 광산이 있으며, Oruro와

Potosi(볼리비아) 광산이 있다. 또한, 행인상 구조의 광화작용이 조면암질 유문암에 나타나는데, 옥수와 석영내에 방연석-섬아연석-황동석이 행인상으로 발달한다. 행인상 구조의 크기는 0.5에서 2-3cm 정도이다. F. N. Shakhov(1966)에 의하면, 산출광물의 품위는 황철석내

금 50-100 g/t, 황동석내 인듐 0.1-0.15%, 방연석내 은 500-1,000 g/t이라고 보고되었다.

Table 1은 케레게타스 구조대에 발달하는 주요 광상형을 보여준다.

90년대초 합작회사인 “Balkhashgeology”에서는 1:

Table 1. The genetic types of deposit and occurrence in Keregetass tectonic zone.

Type of deposit and occurrence	Mine	Mineralization
Quartz vein	Dolina Biryuk	Cu-Mo
	Polymetallichesky	Cu-Pb-Zn, Mo
Greisen-quartz vein	Biryuk Molybdenum	Mo, Pb-Zn
	East Akkuduk	Mo, Pb-Zn
	South Biryuk	Cu-Mo
	Druzhnoe	Pb-Zn
	Keregetass Vein	Cu-Mo, Zn
Contact metasomatic	South Akchgil	Cu-W, Ag
	North Keregetass	Fe, Pb-Zn
Porphyric	Shabigon	Cu-Mo
	Zolotoye	Cu-Mo
Propylitic	West Akkuduk	Mo, Cu, W
	Biryuk Copper	Cu
	South Biryuk	Pb, Zn, Cu, Mo
	Karashok	Mo
	Keregetass Copper	Cu
	Akkuduk-I	Mo
Volcanogenic-sedimentary	East Keregetass	Fe, Zn, Cu, Pb, Mo, Au
Contact metamorphic	Akkemir	Pb-Zn, Ag

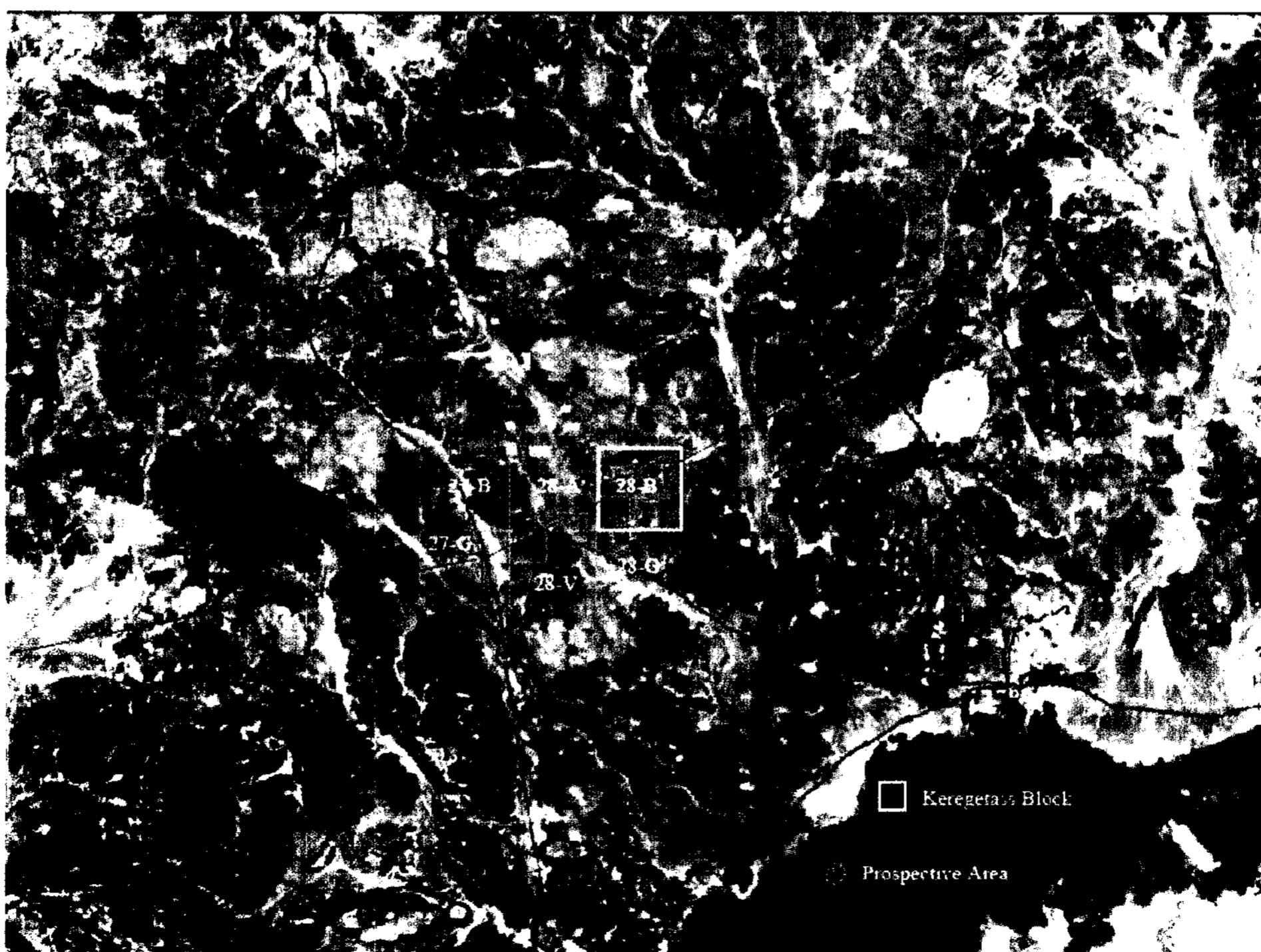


Fig. 3. The map of geochemistry survey in Keregetass tectonic zone(1:50,000).

50,000 도폭 L-43-27(V), L-43-28-(A, B, V)에 대한 지질조사를 수행하였고, 이와 동시에 1:50,000과 1:10,000 크기로 지화학탐사를 수행하였다(Fig. 3):

- 1) 유용광물의 부존 가능성을 제시하는 이상대가 관찰되었고,
 - 2) 지화학 탐사 결과에 의하면, 다음과 같은 광화작용이 발달된 것으로 사료된다.
- Mo
 - 반암형 Mo-Cu
 - 황화물-다중금속(+Au)
 - 다중금속

그 중, 분포가 넓게 발달하고 유망한 광화작용은 반암형과 다중금속 광화작용이다.

1.2. 광구(L-43-28-B)의 광상 분포 특성

구역내 광상생성은 NS방향의 Kyzylespin 복배사구조를 보이는 선캠브리아기의 기반암이 분포하는 L-43-28 도엽 전체를 가로지르는 케레게타스 심부 지구조선과 밀접한 관련이 있다(Fig. 4). 구조-암장대(tectonic-magmatic zone)는 처음 E.M. Wiltsing(1948)에 의해 연구되었으며, 이후 1:200,000 크기의 지구물리탐사에 의해 확인이 되었다(항공자력탐사, 중력탐사, 항공방사능탐사; S.D. Miller and V.N. Kozlov, 1956-1960). 자력 탐사에 의하면, Kokdombak 복합체인 화강섬록암

몬조나이트에서 자력장이 상승하였으며, 이는 수많은 광상과 산출지(몰리브덴, 다큐속, 동, 금)의 생성과 성인적으로 밀접히 연관되어 있음이 규명되었다.

구역의 남서쪽에는 케레게타스 구조대를 따라 분포하는 화산성 및 심성기원의 대규모 광상들이(Biryuk-Mo, Shabigon, Altyngyl, Saryoba 등) 알려져 있다(Fig. 2). 산출되는 모든 광석들은 Cu, Sn, Mo, W, Pb, Zn, Bi, U, Au, Ag 등과 같은 원소와 Se, Te, Cd, In, Te 등의 혼합원소가 산출되는 특징을 보이며, 최근에는 Pt, Ir, Pd 그리고 Os 등의 백금족 원소들이 확인되고 있다. 지난 세기에는 다중금속 광상(Aketmir, Akchagyl, Saryoba, Kyzylesps 등)을 대상으로 은과 연을 개발하였다. 현재는 Saryoba 광상의 함금 석영맥과 고온저압형 금-텅스텐-주석을 대상으로 개발되고 있다.

1940-50년대에는 철을 대상으로 탐사를 수행하였으나, 2001년에 알마스게오사는 금과 백금족에 대한 조사도 시행하였다. 오르도비스기-사일루리아기 사암과 세일의 좁은 곳에(100 m 까지) 급경사(70° - 80°)의 렌즈상 및 판상의 적철석-자철석 괴상 광체가 발달하고 있다. 광체는 거의 1.5 km 정도까지 확인되며, 세일지대에만 제한적으로 분포하는 2~3개조의 연장성이 있는 판상 광체로 이루어진다. 광체의 두께는 주로 0.5-2.0 m이나, 최소 두께가 30cm인 것도 있다. 광석에 대한 재분석 결과, 금이 20 g/t까지 그리고 팔라듐이 3 g/

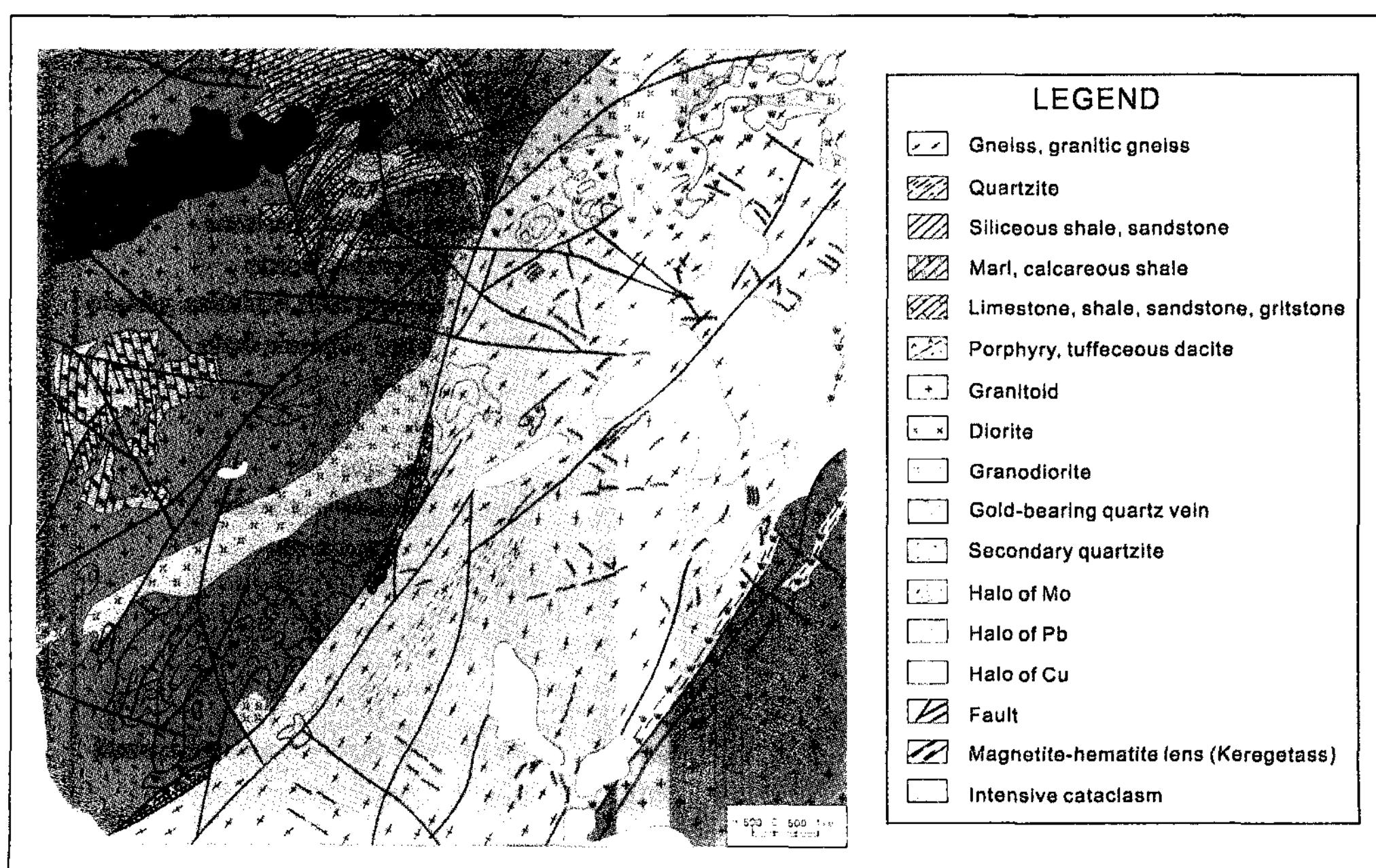


Fig. 4. The geological map of the Keregetass block.

t까지 검출되었다. 알마스게오사는 자철석-적철석 광체가 동력 및 열변성작용에 의해 만들어진 초기의 층상 함철 규산질 퇴적물의 변이에 의한 것으로 판단하고 있다. 금과 팔라듐의 기원에 대한 더 많은 연구가 필요하다.

그 밖에, Aktemir, Akkuduk I-II, 북부 케레게타스 등도 몰리브덴과 복합광의 부존이 예상되는 곳으로, 열수변질대(규화 및 K-장석화)에 대한 예비조사시 금과 팔라듐(약 0.1~0.5 g/t)의 함량이 증가하는 경향을 보이고 있어 추가 조사가 필요하다.

선캠브리아기 변성암내에는 저유황형 함금 석영맥이 발달하고 있는 것으로 확인되며, 이에 대한 추가 탐사가 필요하다. 또한, Kokdombak 복합체인 몬조섬록암-섬장암내 광체의 부존이 중자력탐사에 의해 확인되었지만, 개발 경제성은 미흡한 것으로 판단되고 있다.

1.3. 주요 광상 및 산출지

1.3.1. Aktemir 광상

연-아연 스카른 광상으로 석회질 역암, 집괴암 및 응회암으로 구성된 배사구조에서 발달한다. 광상의 남서쪽에서는 Kizilespinsk 육괴의 조립 화강암과 수조의 산성 암맥이 관입하고 있다. 광화작용은 강력하게 스카른화된 암석과 관련된다(폭 400-600m). 스카른 광물은 투휘석, 투휘석-회철휘석, 투섬석, 석류석 등이 산출된다. 가장 풍부한 광물은 투휘석과 투섬석이다.

스카른대는 2 부분으로 대별된다:

(1) 중앙부는 1 km에 이르는 트렌치에 의해 두께 10-70 m의 스카른대(45-60SE)가 확인되며, 연과 아연의 품위는 각각 0.01-26.5%와 0.026-5.92%이다. 시추 탐사에 의하면, 스카른내에서 드물게 석영맥내 광염상의 방연석 및 섬아연석의 광화작용이 관찰된다. 길이가 500 m에 이르며, 최대 두께는 60 m에 달하는 팽축 구조의 층상 광체는 중앙부의 남동부에 위치하며, 연과 아연의 평균 품위는 각각 1.15%와 1.5%이다. 방연석내에는 셀레늄(0.04-0.05%)과 텔루륨(0.062%)이 함유되어 있다. 석영맥에는 연과 아연의 품위가 최대 15%와 5%에 이른다. 은의 품위는 톤당 1 kg까지 산출된다. 1개의 스카른 시료에서 금의 품위가 1.06 g/t이 분석되었으나, 전체 광체에서는 분석이 이루어지지 않았다.

(2) 서쪽부에서는 20-90 m의 두께의 스카른대(70SE)가 1.8 km까지 확인된다. 광화작용은 석류석과 투휘석 스카른에 국한되며, 소규모 석영세맥과 관련되어 나타난다. 산출광물은 방연석과 섬아연석이다. 연의 품위는 0.01-0.1%로 분석되었다.

1.3.2. Keregetass 광상

함철규암 광상으로, 광상은 케레게타스 구조대의 남쪽면에 위치하며, 선캠브리아기의 복배사에 분포하는 화강편마암의 절리에 의해 규제되어 배태된다(Fig. 5). 지질구조내에는 사일루리아기의 퇴적암과 데본기의 Jaksikonsk 통(series)에 속하는 분출암-화산쇄설층이

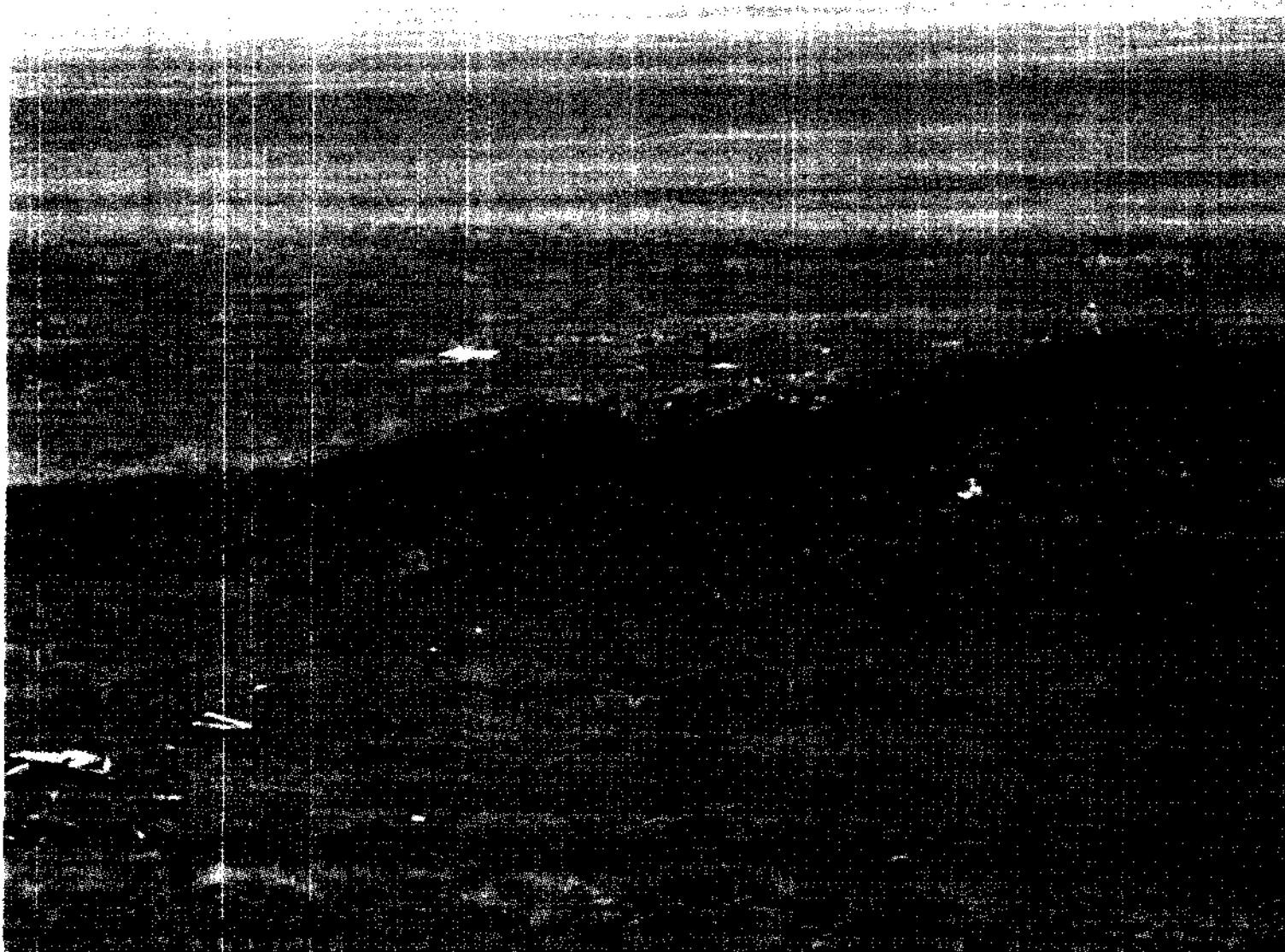


Fig. 5. The overview of Keregetass deposit.

발달하고 있다. 가장 오래된 암석은 사일루리아기의 세립 사암과 미사암과 교호하는 중-조립의 사암이다. 사암의 주향과 경사는 N10°E와 65-70NW(드물게 80NW)이다.

분출암-화산쇄설층은 응회암질 유문암, 석영반암 그리고 화강반암으로 구성되어 있다. 관입암은 남쪽에 발달하는 중립질의 반상화강암이다. 반상 규장암과 섬장암으로 구성된 소규모 암맥들이 분포한다. 케레게타스 구조대 북동부에 해당한다. 본 지역은 북동주향의 단층이 가로지르고 있으며, 북서 및 거의 동서 주향의 소규모 단층들도 발달하고 있고, 일반적으로 상기의 통에 속하는 분출암과 관련된다.

분포 암석은 열수 및 접촉 변질상을 보여준다. 응회암질 유문암이 분포하는 북서부는 폐름기의 관암으로 인해 황철석화 및 규화되었으며, 케레게타스 언덕부의 석영반암은 거의 전체가 2차 규암으로 변질되어 있다. 화강암과 분출암사이의 구조대에 분포하는 사암과 셰일은 고령토화, 녹렴석화 그리고 규화되어 있다.

오르도비스-사일루리아기의 지구조 윗지에는 렌즈상의 괴상 적철석-자철석(+철명반석) 광체가 발달한다. 각 안행상구조를 보이는 광체의 여장은 3-5 m에서 20 m이며, 두께는 약 10-15 m에서 30-50 m이다. 철 품위는 10-15%에 이르며, 광화지역의 연장은 약 2 km에 이른다.

60년대에 적철석 광석에서 금의 품위가 3.0-5.0 g/t까지 함유되어 있다고 보고된 바 있으나, 2000년에 알마스게오사에서 수행한 한 개의 적철석시료에 대한 분석

결과, 금 20.7 g/t, 은 15.0 g/t, 텉스텐 0.4%, 주석 0.01%등이 함유된 것으로 알려졌다.

구 소련시대에 수행된 트렌치탐사에서 채취된 암석 시료를 대상으로 금속원소의 품위가 분석된 바 있었다.

은(Silver)

은이 최대 품위를 보이는 구간은 철의 함량이 높은 곳($Fe > 20\%$)과 일치한다. 적철석-자철석 광석 중에 은의 함량이 높게 함유되는 부분은 적철석 광석이다. 트렌치탐사 결과, 4개 구간에서 광체가 확인되며, 각 광체의 연장은 150-350 m에 이른다. 시료 채취는 지표 하부 1.5-2.0 m 지점에서 이루어졌으며, 4개 광체의 평균 폭은 3.2 m이고, 은의 평균 품위는 14.3 g/t이다. 은의 예상매장량은 5,784 kg으로 평가되었다(평균품위 16.0 g/t, 광체의 평균 폭 5.5 m). 트렌치탐사 시료의 분석 결과는 Table 2와 같다.

금(Gold)

원자흡광분석에 의한 금 함량은 모든 시료에서 1.0 g/t 미만이 검출되었다. 2005년도에 확인된 금과 팔라듐의 함량(금 평균품위 0.195 g/t, 팔라듐 품위 0.5-0.8 g/t)이 높게 나타난 것을 근거로, 트렌치 및 금을 함유하는 층에서 최소한의 금 함량을 규명하기 위해 한 곳의 트렌치에서 58개의 시료를 대상으로 불꽃분석(Fire-assay)을 수행하였다. 그 결과, 모든 시료에서 금과 팔라듐이 함유되어 있는 것으로 확인되었고, 함유량은 각각 0.17-0.78 g/t(평균 품위 0.32 g/t)과 0.17-

Table 2. The result of AAS analysis on the silver content.

No. of Trench	Interval of ore sample	Thickness of ore body (m)	Average grade of Ag (g/t)	GT of Ag (m × g/t)
1	1	9-17	9.0	28.4
2	1	35-37	3.0	12.0
3	1	47-55	9.0	18.4
4	2	3-10	9.0	12.1
5	3	7-11	5.0	14.6
6	3	13-18	6.0	13.4
7	4	2-8	7.0	14.0
8	5	3-4	2.0	22.5
9	5	10-21	12.0	17.1
10	6	19-26	8.0	16.25
11	7	3-4	2.0	6.0
12	8	7-10	4.0	6.2
13	9	14-16	3.0	18.3
14	10	16-21	5.0	7.0
15	14	7-9	3.0	33.3
Total			87.0	16.38
				1425.50

0.60 g/t(평균 품위 0.32 g/t)로 나타났다. 두 원소의 고 품위대는 산화대 및 규화된 모암에서 나타나며, 심부로 갈수록 품위가 높아지는 경향을 보여준다.

수직전자탐사에 의하면, 광상의 북쪽부(심부 200-300 m)에 금-다중금속 광화작용으로 형성된 광체를 나타내는 이상대가 발견되었다. 수직 전기비저항 프로파일에서는 두 조의 이상체가 나타나고 있다. 첫 이상체의 남쪽부는 케레게타스 철광상의 위치와 일치하며, 북쪽부와 심부는 광상부존 유망지역임을 지시한다. 두 번째 이상체는 황화물 광화작용이 예상되는 지역으로 정밀탐사가 추천된다.

수직전자탐사에 의하면, 경제성있는 금과 몰리브덴의 부존이 유망한 것으로 알려져 있다. 또한, 시험시추에 의하면, 케레게타스 동쪽 측면에서 고품위의 금과 몰리브덴이 발견되었다.

동과 연이 광염되어 있는 지역에서 심부로의 광화작용 확인을 위한 시추공에서 소폭의 석영-적철석맥이 발달하는 황철석화 및 규화된 사암과 미사암이 관찰되었다. 아연의 최대 품위는 2.0%였으며, 몰리브덴은 0.02%의 품위를 보여 주었다. 심부로의 추가 탐사가 필요할 것으로 판단된다.

1.3.3. Zolotoye 산출지

백상-광염상의 동-몰리브덴 광화작용이 발달하고 있는 지역으로, 케레게타스 지구조대의 남동쪽 Akkuduk 단층(NE)지역에 위치하며, Verkhnedevonsk 복합체인 화강암과 산성의 분출-화산쇄설층의 접촉부를 지나고 있다. 동쪽에 분포하는 화강암은 중립질로 소규모의 석영-백운모 망상체를 포함하고 있다. 분출암은 응회암질 유문반암과 소규모의 석영반암이다. 암주상의 분출암 중에는 중립질의 화강섬록암과 화강섬록암-섬장암이 분포한다. 화강섬록암과 분출암은 석영-견운모-고령토 조성의 2차 규암으로 변질될 정도로 광역적인 규화작용을 받았다.

산출지 조사 자료에 의하면, 광석 시료에서 동 함량이 0.1%까지 검출된 바 있는데 공간적으로 2차 규암과 관련이 있는 것으로 알려져 있다. 하부 탐광을 목적으로 시추조사가 진행 되었는데, 하부 20 m까지 2차 규암이 확인되었으며, 변후안산암질 화강섬록암에 의해 교대되는 특징을 보인다. 광화작용은 광염상의 황철석과 황동석이 화강섬록암 암주에 국한되어 발달하고 있다. 광화작용은 30-125 m 구간에서 확인되며, 85-110 m 구간에서 계산된 동의 품위는 0.15%에 이른다. 몰리브덴은 화강암의 그라이젠판 부분에서 0.001%이

상 산출된다.

동-몰리브덴 광체의 부존을 확인하기 위한 화강섬록암 분포지역(2.0 km^2)에 대한 시험시추가 필요하다.

1.3.4. Akkuduk 지역

1964-65년도에 수행된 정밀탐사에서 동, 다중금속, 몰리브덴 그리고 희유원소 등 다양한 광화작용이 발달하는 것이 알려졌다. Akkuduk-산출지는 우라늄과 토륨이 검출되는 몰리브덴 광화작용이 특징이다.

위치는 케레게타스 구조대의 북서 및 중앙부에 해당하며, 지질구조내에는 데본기의 Jaksikonsk 통(series)에 속하는 분출암-화산쇄설층이 발달하고 있는데, 화강암이 관입하고 있다. 가장 연약한 접촉부에서는 페름기의 알칼리 화강암과 화강섬장암이 관입하고 있다. 주변 암석들은 화강섬록암의 영향으로 재결정이 이루어졌고, 심부로 갈수록 혼펠스화(용탈작용 및 규화작용)되어 있다. 화강암은 혼펠스화되어 있으며, 부분적으로 규화되어 있다.

중앙부에 분포하는 화강암에는 단층선(NE, 40SE)이 형성되어 있는데, 이를 따라 열수광화작용이 발달한다. 광화작용 발달지역에는 렌즈상의 석영-견운모 규암이 분포하는데, 그 중앙에는 보통 렌즈상의 단일상의 규암이 나타나는데, 그 폭은 5-10 m이다. 남서부에 분포하는 분출암중에 2차 규암의 누대구조를 보이는 열수변질대가 나타난다. 변질대의 주향은 거의 남북방향으로, 이를 따라 약 2,500 m까지 확인되며, 평균 폭은 150 m이다.

Akkuduk-I 산출지

다중금속 광화작용은 분출암내 남북에 가까운 주향의 열수작용이 발달한 지역과 관련된다. 산출되는 주요 원소는 연, 아연, 동, 그리고 몰리브덴이다(Fig. 6). 수직의 열수지역은 광역적으로 발달하는 급경사의 열곡이 분포하는데, 석영 공동, 때때로 방연석, 섬아연석, 황동석의 광염이나 맥으로 충진되어 있다. 공동은 정동상의 황동석과 섬아연석으로 충진된 특징을 보여준다. 2차 규암내 광염사의 황화물은 조밀하지만 불균질하게 산출된다. 광체는 트렌치적을 따라 연장 1,200 m 정도로 불규칙하게 노출되어 있다. 트렌치에서 확인된 광체 폭은 약 11 m로서, 연 품위 0.25-0.2%, 동 품위 0.3-1.0%정도로 발달되나, 아연은 지표에서 검출되지 않았다.

시추공에서 확인된 산화대는 심부 20-25 m까지 발달하며, 분석 품위는 연 0.1-0.6%, 아연 0.1-0.04%,



Fig. 6. The overview of Akkuduk-I occurrence.

동 0.04%이다. 66-71 m 구간에서 경제성 있는 다중금속 광체가 확인되며, 평균 품위는 연 0.6%, 아연 1.8%, 동 0.3%이다. 심부로 갈수록 품위가 증가되는 것으로 나타났다. 다른 시추공에서는 55-75m 구간에서 연 0.6%와 아연 1.2%의 품위로서, 광화작용은 심부로 계속 발달되지만, 품위가 감소하는 경향을 보여준다.

Akkuduk-II 산출지

지구물리탐사 결과, 폐름기의 화강암내에서 NE 주향의 단층을 따라 U-Mo 광화작용이 광범위하게 발달하고 있는 것이 확인된다. 열극대의 경사는 35SE로 규화, 황철석화 및 함철질화(ferruginization)가 발달되며, 다른 열극에는 광역적인 녹니석화와 탄산염화가 발달하고 있다. 화강암은 섬록암질 암맥이 관입하고 있다. 지표상에는 열극대의 폭이 100-200 m가 확인되지만, 이상대는 1.5 km까지 나타난다. 이상대 규명을 위한 시추공에서 몰리브덴 광체가 폭 3.65 m, 품위 0.1-0.46% 까지 검출되었다. 심부 100m까지의 잠재적 매장량은 5,620톤으로 산출되었으며, 평균 품위는 0.28%로 나타났다.

1.3.5. 기타 산출

Polymetallichesky 산출지

NW 주향의 Akkuduk 단층을 따라 분포하는 거정질의 우백질 화강암과 관련되어 발달하고 있으며, 광화작용은 그라이젠-석영맥형으로 7개의 주요 광체로 구

성된다. 광체의 규모는 최대연장이 1,500 m에 이르며, 폭은 5-10 m이다. 산출 광물의 품위는 연 0.025-10%, 아연 0.03-0.3%, 동 0.04-1.0% 등이며, 몰리브덴, 은, 토륨(0.093-0.116), 이트륨(0.05%) 등도 검출된다. 희유금속에 대한 탐사가 추천되는 지역이다.

Southern Biryuk 산출지

Akkuduk 단층을 따라 분포하는 맥상의 동 산출지로 화강암과 분출암-화산쇄설층의 접촉부에서 발달한다. 규화 및 견운모화된 열수변질대는 4 km까지 확인 가능하며, 폭은 50-200 m에 이른다. 산화대에는 공작석, 적동석, 함철질 황토 및 드물게 백연석이 산출된다. 트렌치 탐사에서 광체 연장이 1,700 m까지 확인되며, 폭은 1.5-5.0 m에 이른다. 동의 최대 품위는 2.0%(평균 0.2-0.3%)이며, 연은 0.04%까지 산출되고, 몰리브덴과 은의 품위가 증가되는 특징을 보인다.

Southern Akchagil 산출지

스카른 동 산출지로, Akkemir 광상 북서쪽 10 km에 위치한다. 초기 석탄기의 화강섬록암과 오르도비스기의 석회암과의 접촉부에서 발달하는 스카른 동 광체이다. 북서 주향의 광체는 트렌치 탐사에서 확인되며 (연장 120 m, 폭 2-3 m), 공작석, 적동석, 남동석, 규공작석 등이 산출된다. 2개 시료에서 확인된 동의 품위는 5% 이상, 연과 비스무트는 0.1% 그리고 몰리브덴은 0.001%이다.

Keregetass 북부

석류석-자철석 스카른형 철광체로, Akkuduk 관정에서 서쪽으로 6 km지점에 위치한다. 캠브리아기 석회암과 화강암의 접촉부에서 발달한다. 주향을 따라 200 m 까지 확인되며, 평균 폭은 5-10 m이다. 적철석 광화작용의 3개 렌즈상 스카른 광체는 중기 석탄기의 화강암과 오르도비스기의 석회암과의 접촉부에서 발달한다. 철의 품위는 35%이하이며, 연과 동이 0.001-0.1% 검출된다.

4. 결 론

(1) Keregtass 구조-암장대는 다음과 관련되어 생성된 몰리브덴 광화대로 알려져 있다;

- 중-후기 석탄기의 Toparsk 복합체에 속하는 화강암 - 석영맥 및 그 라이젠 석영 맥상형의 광상 및 산출지(Biryuk Molybdenum, Polym-etallichesky, Akkuduk-I)
- Kokdombaksk 복합체인 화강섬록암-반암형의 Cu-Mo 광상 (Shabigon, Zolotoye, Karashok)

· 페름기 초에 형성된 화강암체-Mo-Au-W-Pb 광화작용(East Akkuduk, West Akkuduk, East Keregetass).

(2) 탐사된 광상 및 산출지의 예상 매장량은 66,190 톤, 지화학 탐사결과에 근거한 유망지역에서의 예상 매장량은 17,210톤이다(0.001-0.46% Mo).

(3) 탐사광구에 대한 추가적인 정밀탐사가 필요하다.

사 사

본 연구는 한국지질자원연구원이 수행하고 있는 산업자원부 출연연구사업의 ‘해외광물자원 협력 및 기술정보 구축’ 과제에서 지원되었습니다.

참고문헌

ALMASGEO. (2007) The report on Keregetass block (Kazakhstan), Russia.

2008년 4월 29일 원고접수, 2008년 5월 27일 게재승인.