

Тойм өгүүлэл

Дундговь болон Хэрлэнгийн төмрийн металлогений бүсэд тархсан төмрийн ордууд

Л.Оюунжаргал¹, Сод. Оюунгэрэл¹, Б. Тамир^{1*}, Ү.Гансүх^{1,2}, Б. Идэрбаяр^{1,3}

¹ МУИС, Шинжлэх ухааны сургууль, Геологи, геофизикийн тэнхим

² Говь вентур ХХК

³ Коцл ХХК

Abstract

Iron Oxide Apatite and Iron Oxide Copper Gold deposits generally consist of Fe and Cu-Au ore, and some deposits occasionally are recognized P, REE, Co, Ag and U. IOCG deposits are divided into magnetite and hematite subtypes by general ore mineral. Magnetite type IOCG has Na-Ca or, Na and potassic alteration zones, ore bodies are breccia and veins in shapes, ore-forming fluid was $\delta^{18}\text{O}$ light supplied by magmatic and metamorphic waters. Hematite IOCG has a little potassic alteration zone, and ore bodies are formed breccia and lens in shapes in sericitic-chloritic alteration zone. ore-forming fluid was $\delta^{18}\text{O}$ heavy supplied by magma with a significant contribution of meteoric water. Banded Iron Formation is divided into Algoma, Superior and Rapitan sub types. The Algoma type BIF has $\delta^{18}\text{O}$ of primary silica changed from +8‰ to +20‰ at temperatures below 100°C during diagenesis, indicating that although O isotope exchange occurs during diagenesis, low concentrations of rare earth and trace elements in siliceous shale do not change in ocean water-derived fluids. The Rapitan type, when the Earth's oceans were almost completely covered by ice and cut off from the atmosphere, the ferruginous quartzite was deposited in the water at a time when the oceans were re-oxygenated. Prominent deposits of superior-type ferruginous quartzite occur in Paleoproterozoic sedimentary basins or in shallow-water sedimentary rocks of the continental shelf (Dartsagt, Ereen). Iron skarn deposits are divided into calcic, magnesian, and scapolite (albite) by their general chemical composition. Calcic iron skarn is developed at contact of carbonate bearing rocks and basic intrusion, and ore consists of magnetite, chalcopyrite, cobaltite, and pyrrhotite. Host rocks of magnesian iron skarn are typically dolomite, or limestone, quartzite, and schist associated with dolomitic. Ore minerals are recognized as magnetite, chalcopyrite, pyrite, sphalerite, arsenopyrite, and pyrrhotite in these type deposits (Bargilt). Host rocks are andesite, tuff, limestone, argillite at the scapolite (albite) iron skarn, then magnetite, hematite, pyrite, marcasite, chalcopyrite, sphalerite, pyrrhotite, and arsenopyrite are ore minerals.

Хүлээн авсан: 2022-10-10

Зөвшөөрөгдсөн: 2022-10-12

Түлхүүр үг: Дундговь, Хэрлэн,

Металлогени, ТИЗА, төмөрлөг кварцит, төмрийн скари

* Холбоо барих зохиогч: Б. Тамир,

МУИС, Шинжлэх ухааны сургууль,

Геологи, геофизикийн тэнхим

И-мэйл: tamir1201@num.edu.mn

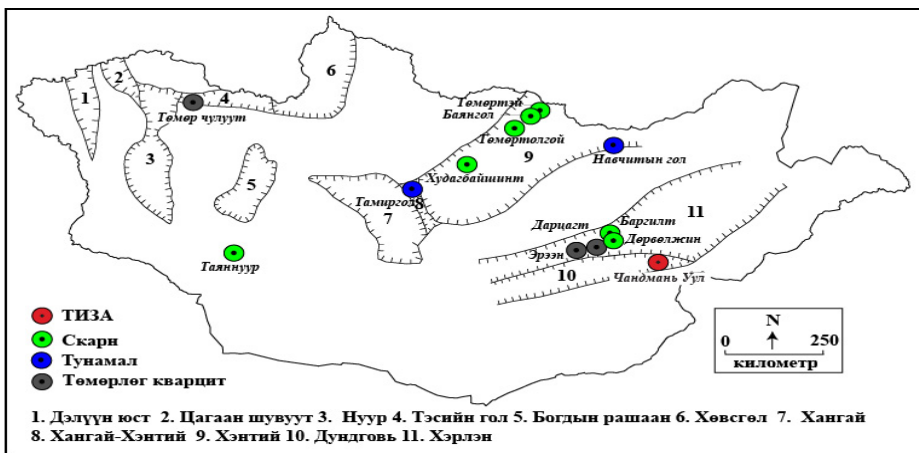
1. Оршил

Fe нь аж үйлдвэрт маш чухал түүхий эд болгон эрт дээр үеэс одоог хүртэл хэрэглэсээр байна. Тус элемент нь үелэх системийн 26 (атом массын дугаар)-д байрших бөгөөд геохимийнхээ хувьд литофиль шинж чанартай, Fe⁵⁴, Fe⁵⁶, Fe⁵⁷, Fe⁵⁸ гэсэн изотопуудыг үүсгэдэгээс нь Fe⁵⁶ хамгийн их тархалттай. Дэлхийд үйлдвэрийн төрлөөр нь ашигт малтмалын ордуудыг онцлог шинж чанараар нь тохирох бүлэгт ангилан ялгадаг билээ. Fe болон гангийн металлуудын бүлэгт V,

Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Mo, W зэрэг элементүүдийг хамруулан авч үздэг (Walter, 2011). Fe-ийн ордуудыг гарал үүсэл, үйлдвэрийн төрлөөр нь Дэлхийн хэмжээнд ортомагмын, контакт-метасоматоз буюу скарны, магмын гидротермаль (Iron Oxide Copper Gold-IOCG болон Iron Oxide Apatite-IOA), эпигенетик массив буюу судлын, карбонат дахь гидротермаль метасоматоз сидеритийн, вулканоген-ууршилт буюу тунамал гидротермаль (SEDEX), үлдэгдэл латеритын, суперген шүүгдлийн “суваг”, тэнгисийн тунамал буюу төмрийн хүдрийн дахин баяжсан суперген,

өндөр агуулгатай гематитын хүдрийн дахин баяжигдсан үеллэг төмрийн формац (Banded Iron Formation-BIF)-ийн ордууд гэж ангилдаг. Монгол орны хэмжээнд тархсан төмрийн ордуудыг гарал үүслийн хувьд скарн, тунамал, гематитын хүдрийн дахин баяжигдсан үеллэг төмрийн формацийн буюу төмөрт кварцитын гэж ангилаад металлогний хувьд Дэлүүн юстын, Цагаан шувуутын, Нуурын, Тэсийн голын, Богдын рашааны, Хөвсгөлийн, Хангайн, Хангай-Хэнтийн, Хэнтийн, Дундговийн болон Хэрлэнгийн гэсэн 11 бүсэд хуваажээ (Зураг 1). (Dejidmaa *et al.*,1996; Ukhnaa & Baasan 2016). Хамгийн сүүлд Өмнөд Монгол дахь Чандмань-Уул Fe-ийн ордыг скарн гарал үүсэлтэй гэж өмнөх судлаачид үзэж байсныг магмын гидротермаль төмрийн исэл-зэс-алт (ТИЗА-IOCG)-ны төрлийн орд болохыг тогтоогоод байна (Oyunjargal *et al.*, 2020). Энэхүү өгүүлэлд газарзүйн болон металлогений ойролцоо бүс болох Дундговийн бүсээс Чандмань-Уул ТИЗА орд, Хэрлэнгийн бүсээс

Эрээн үеллэг төмрийн формац, Дарцагт үеллэг төмрийн формац, Баргилт скарн, Дөрвөлжин скарн гарал үүсэлтэй ордуудын талаар өгүүлнэ. Монгол орны хэмжээнд Fe-ийн ордуудын гарал үүслийн судалгаа, нарийвчилсан шинжилгээ, судалгааны ажлууд хийгдэж байгаа боловч бүрэн гүйцэд судалгааны өнөөгийн түвшинд олон улсын ангилал хийгдээгүй хэдий үйлдвэрлэлийн төрлөөр ангиллаж байна, ашигт малтмалын ордын гарал үүсэл, хүдэр бүрэлдэх орчины физик-химийн нөхцөл, тектоник хөдөлгөөний үйл явц, хүдрийн талбайн структурын талаар тайлбарлахад учир дутагдалтай байна. Тиймээс судлаачид Монгол орны төмрийн ордуудын агуулагч чулуулаг болон хүдрийн эрдсүүдэд нарийвчлал өндөртэй шинжлэх ухааны өндөр түвшиний судалгаа, шинжилгээний хийж, дэлхий нийтийн хэмжээнд тархсан төмрийн ба төмөр агуулсан хүдэржилт бүхий ордуудтай харьцуулан ялгаатай болон төсөөтэй талуудад үндэслэн шинээр ангиллах, судлах шаардлага бий болж байна.



Зураг 1. Монгол орны голох төмрийн ордуудын металлогений бүдүүвч (Dejidmaa *et al.*,1996; Ukhnaa & Baasan 2016, зургуудыг үндэслэв).

2. ТИЗА, скарн болон төмөрт кварцитын ордууд

2.1 Дэлхийн ТИЗА ордуудын төрөл, хувирал, түүнд агуулагдах металлууд

Анх Хитзман (Hitzman) нар (1992) өөрийн гэсэн

өвөрмөц онцлог шинж чанартай, гарал үүслийн хувьд маргаантай энэ ордын төрлийг нийтэд хүртээл болгосон. Дэлхий дээрх томоохон апатит тархсан Fe (Iron Oxide Apatite (IOA)-Төмрийн Исэл Апатит (ТИА)) болон ТИЗА (Төмрийн Исэл Эс Алт)-ны төрлийн ордууд нь 1 тэрбум тонн (Gt)-оос ч илүү Fe-ийн хүдэр эсвэл Cu-

Au-ны хүдрүүдийг агуулдаг бөгөөд ихэвчлэн P, REE, Co, Ag болон U зэрэг элементүүдийг их хэмжээгээр дагалдагчаар агуулдаг (Williams et al., 2005). ТИЗА-ны төрлийн ордууд нь геологийн хөгжлийн хувьд гүний хагарал дагаж эртний настай хурдас чулуулагтай холбоотойгоор үүсдэг онцлогтой.

Харьцангуй цөөхөн орд нь химийн шинжилгээний бүрэн мэдээлэлтэй байх бөгөөд тэдгээрт Fe-ийн ордууд нь ерөнхийдөө Fe, P, S, Ti, багаар Cu-ийн хүдрийн мэдээлэл байх боловч Au болон хольц элементүүдийн тухай мэдээлэл бараг байдаггүй. Харин эсрэгээр Cu-ийн ордуудад зөвхөн Cu ба Au-ны талаарх мэдээлэл их байх боловч бусад хольц элементийн найрлага болон Fe-ийн агууламжийн талаарх мэдээлэл ховор байдаг онцлогтой.

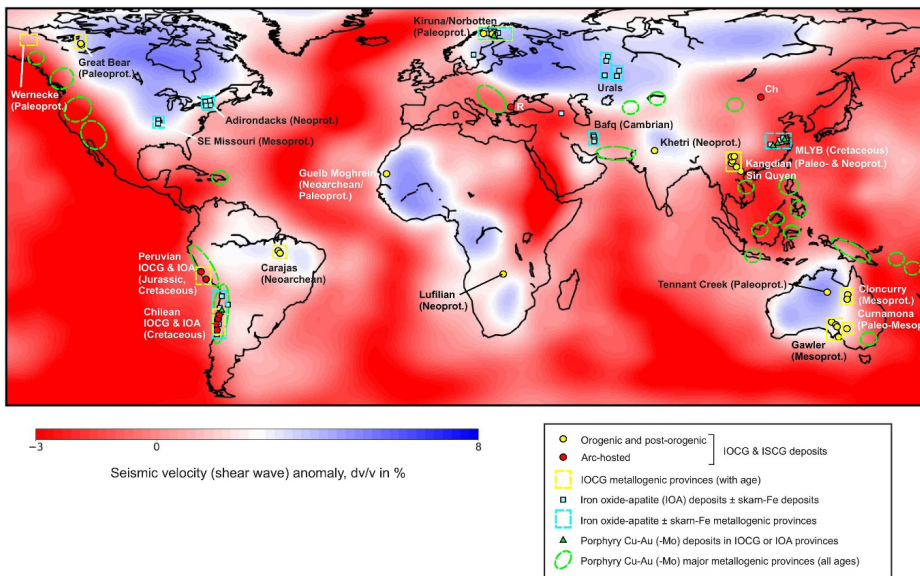
ТИЗА-ны төрлийн ордууд нь төмрийн хүдрийн найрлага, тэдгээрийг үүсгэж буй уусгамалын

төрлөөсөө хамаарч магнетитын, гематитын гэсэн дэд төрлүүдэд ангилагдаж болно (Chen et al., 2013; Оунжаргал et al., 2020).

ТИЗА болон түүнтэй холбоотой ордуудын металлоген нь орогенийн, орогенийн дараах болон нумын гэсэн гурван төрлийн тектоник нөхцөлд үүсэх боловч орон зай болон магмын чулуулгийн найрлага, тэдгээрийн хоорондын гарал үүслийн холбоо нь ялгаатай байдаг (Roger, 2022).

Төмрийн хүдрийн ордод гематит болон магнетит нь хүдрийн гол эрдэс байж, Fe-ийн агуулга дунджаар 30-70%. Цөөн тооны Cu-ээр баялаг ордуудад Fe-ийн агууламж нь Cu-ийн хүдэр дэх жингийн 15-25% хүртэл агуулгатай тохиолдоно (Williams et al., 2005).

Тухайлбал Ла Канделариа (La Candelaria) Cu (-Au) ордын их хэмжээний чулуулаг нь >30% Fe агуулсан боловч Cu хүдрийн биеттэй давхцадаггүй.



Зураг 2. Roger (2022)- ийн Дэлхий дээрх гол ТИЗА төрлийн ордуудыг ТИА (IOA-төмрийн исэл-апатит) болон Cu-Au (-Mo) порфирин ордуудын дүүргүүдтэй харьцуулан 165 км-ийн гүнд ак 135 аномальтай газар хөдлөлийн хурдны дэвсгэр (Lu et al., 2019) зураг дээр байрлуулсан зургийг ашиглав. Товчлол: Ch-Чандмань уулын орд (Оунжаргал et al., 2020), R-Розен орд (Sillitoe et al., 2020), ISCG- Iron Sulfide Copper-Gold (ТСЗА-төмрийн сульфид-зэс-алт).

Ла Канделариан системд тархсан магнетитын хэмжээ (өөрөөр хэлбэл Cu-Au хүдэрээр хязгаарлагдахгүй) Чилийн Fe-ийн бүс дэх хамгийн том Fe ордуудын хэмжээнээс их байх магадлалтай бөгөөд Олимпик Дам дахь Cu-ийн

хүдэрт агуулагдах Fe нь одоогоор мэдэгдэж байгаа хамгийн том Fe-ийн систем юмаа. Бусад хар металлуудын хувьд Cu болон Fe-ийн хүдрийн төрлүүдэд Ti ховор (царцдас Fe/Ti), Co болон V нь Fe-тэй харьцуулахад баяжсан, харин Ni,

Mn, Cr зэрэг нь Fe-тэй харьцуулахад ерөнхийдөө шавхгагдсан ажиглагдана (Kisvarsanyi and Proctor, 1967; Frietsch, 1970; Hauck, 1990). Cu-Au-ны ордуудын >60%-д Cu-ийн агуулга 0.5-аас 4 гр/т (wt percent), дундаж нь 1 гр/т байна. Ихэнх төмрийн ордуудад Cu-ийн шинжилгээ байхгүй ч халькопирит нь ихэндээ аксессуар эрдсээр тодорхойлогдсон байдаг.

Карахас (Carajás) дүүргийн Игарпе Баия-Алемао (Igarape Bahia-Alemgo) системийн дээд хэсэгт ихэнхдээ Cu болон Au-ны агуулгууд гипоген үе шатанд Cu нь элэгдэж ганцхан Au-ны үлдэгдэл нөөц үүсгэдэг.

Клонкарри дүүргийн Старра болон Теннант Грекийн зарим ордуудад Au-ны ер бусын өндөр агуулгаараа ялгардаг. Ag-ны тухай ихээхэн дурьдсан байх боловч агуулгын хувьд тодорхойгүй, зарим баримт бичигт Ag/Au нь 10 ± 5 гр (wt) гэж тэмдэглэгджээ. Ураны эрдсүүдийн талаар ихэвчлэн өгүүлэгддэг боловч U-ийн нөөцийн мэдээлэл бараг байдаггүй. Бусад ховор металлуудын мэдээлэл бага хэмжээгээр байх бөгөөд Mo нь молибденитоор нийтлэг илэрхийлэгдсэн байх боловч шинжилгээний үр дүн дутмаг, Zn болон Pb нь ихэнх системүүдэд байхгүй хэдий ч Канделариа болон Монакофф (Monakoff), Квинсланд (Queensland)-дад ач холбогдолгүй Zn агууламжтай. Газрын ховор элементийн агууламж ихээхэн ялгаатай. Бусад элементүүдийн дотроос Fe-ийн орд дахь S ба P нь жингийн хэдэн хувиас хэдэн зуун хувь хүртэл хэлбэлздэг. Жишээлбэл, апатитаар баялаг судлууд нь ихэвчлэн олон системд бүртгэгддэг боловч нөөцийн тооцоонд тусгагдаагүй байдаг.

ТИЗА ордууд нь 1/ ороген нөхцөлд ТИЗА болон түүнтэй холбоотой ТСЗА-ны ордууд нь дэлхийн царцдасын гүн биш орчинд дундаас бага метаморфизмын зэрэглэлтэй орчинд, 2/ орогений дараах ТИЗА нь шахалтаас тэлэлт хүртлэх тектоникийн бүрэн үйл явцад (Олимпик Дам), 3/ТИЗА болон ЗАТ (Зэс-Алт-Төмөр)-ийн ордууд нь эх газрын захын магмын нум гэсэн гурван тектоникийн гол орчинд үүсдэг (Roger., 2020).

2.1.1 Магнетитын дэд төрөл

Магнетитын дэд төрөл нь магмын болон метаморф гаралтай уусгамалаас хүдрүүд нь үүсдэг. Хүдрийн гол эрдсээр магнетит тохиолдох бөгөөд Cu/Au-ны эрдэсжилттэй, гематит нь хүдэржилтийн сүүлийн үе шатанд үүснэ. Эрдэсжилт нь эдийн засгийн хувьд Cu болон Au (>0.2 g/t), дагалдагчаар Co, Bi болон U-REE (Теннант Грек), тодорхой бүс нутагт P, Ni, F болон Mg (Фалаборва)-аар баялаг (Chen, 2013). Гол хүдрийн бөөгнөрөл нь магнетит, халькопирит, пирит болон пирротин байх бөгөөд тодорхой бүс нутагт магнетит-халькопирит-борнит-халькозин (Салабо болон Фалаборва). Бүс нутгийн хэмжээнд Na± Ca (альбит—скаполит± актинолит)-ийн хувирал нь нийтлэг тохиолдох боловч Фалаборвагаас бусад тохиолдолд Cu/Au эрдэсжилт нь потассик (биотит эсвэл калийн хээрийн жонш) өөрчлөлттэй нягт холбоотой, тодорхой бүс нутгийн хэмжээнд Ca-(актинолит эсвэл клинопироксен) холбоотой (Канделариа болон Элоиза). Шилжилтийн бүсээр хянагдсан хүдрийн биетүүд нь судлууд ба брекчээс бүрдэх боловч тодорхой бүс нутагт линзлэг (Салобо) байдаг онцлогтой. $\delta^{34}\text{S}$ нь хэлбэлзэлтэй байх бөгөөд Фалаборва болон Свартбунсдриф-д +5‰ хүртэл, Эрнест Хенри болон Гуэлб Могрейн-д +10‰, Ла Канделариа ба Рауль-Кондестабель-д >+10‰ тодорхойлогдсон байдаг. Хүдэр үүсгэгч уусгамалын температур нь Салобо-д 100–500 °C, Ла Канделариа-д 275–450 °C, Эрнест Хенри-д 350–440 °C тус тус тогтоогдсон нь хүдэр үүсгэгч уусгамалын температур өргөн хүрээг хамарч байна. Монгол орны хэмжээнд одоохондоо энэ төрлийн орд судлагдаагүй байна.

2.1.2 Гематитын дэд төрөл

Энэ дэд төрөлд гидротермаль брекчээр цементлэгдсэн гематит-сульфид, Fe-бага тархсан халькопирит-борнит-халькозин (ба/эсвэл дигенит)-ы бөөгнөрлүүдээр зэсийн сульфидууд тархсан, зарим тохиолдолд ганцхан халькопирит (Мантоверда) хуримтлагдсан байна. Магнетитаар

баялаг ТИЗА ордуудтай гематитын ТИЗА (Олимпик Дам) ордуудыг харьцуулахад Au нь тодорхой бүс нутагт дахин баяжсан, харин Ag болон Zn нь өндөр агуулгатай. Олон гематитын ТИЗА (Олимпик Дам, Мантос Бланкос, Мина Жуста)-ны ордуудад халькопирит-пиритээс борнит- халькозин хүртлэх хэвтээ болон сульфидын бүсүүд тархсан байдаг.

Зэсийн эрдэсжилттэй гидротермаль хувирал нь магнетитаар баялаг ТИЗА ордуудын биотит±амфиболын бөөгнөрөлүүдээс илүү серицитжилт эсвэл калийн хээрийн жонш-хлоритжих хувирал тархаж, бүс нутгийн хэмжээнд Na/Ca хувирал нь зөвхөн ихэнх гематитын ТИЗА ордуудын эргэн тойронд сул хөгжсөн онцлогтой. Гематитын ТИЗА-ны хүдэр үүсгэгч уусгамал нь магнетитын ТИЗА-аас өөр, хүйтэвтэр (<300 °C), Ca (Ca>Na)-ийн агуулга өндөр, CO₂ бага.

δ³⁴S өндөртэй (>+10‰) голчлон гадаад сав газрын уусмал болон өөрчлөгдсөн далайн ус нь гематитын ТИЗА-ны хүдэр үүсгэгч системд гол үүрэг гүйцэтгэдэг. Си-ийн эрдэсжилт нь Олимпик Дам, Мантос Бланкос болон Мантовердад ордуудын шингэний холидолт нь брекчитэй шууд хамааралтай байхад Мина Жуста ордын хүдрийн биетүүдэд ууршсан сав газрын уусмал болон далайн усаар эсвэл төмөрлөг чулуулгаар хэлбэржсэн Си-ийн эрдэсжилтийн гол механизм нь шингэний бууралттай холбоотой.

Магнетит болон гематитаар баялаг ТИЗА-ны ордууд нь Неоархейгаас Плейстоцен хүртлэх насны чулуулагт үүссэн байдаг.

А-төрлийн Кембрийн өмнөх интракратоны рифтүүд (Олимпик Дам, Соссега), карбонатит (Фалаборва) магматизм, шохойлог-шүлтлэг нумын магматизмтай эх газрын захын дагуух нуман доторх сав газар (Төв Андын ТИЗА-нууд), шохойлог-шүлтлэг магматизмтай коллизын дараах орогенийн сав газрууд (Клонкарри, Луфилийн нум). Өмнөд Монгол дахь Чандмань Уул ордыг төмрийн скарн төрлийн орд хэмээн өмнөх судлаачид үзэж байсныг Оюунжаргал нар (2020) гематитын ТИЗА төрлийн ордод

хамруулсан. Чандмань Уул орд нь потассик, эпидотжилт болон серицит-хлоритжилтын хувирлын бүсүүдтэй, хүдэржилтийн хожуу үе шатанд кальцит болон кварцын судланцарууд хөгжсөн байдаг. Хүдрийн эрдсүүдээс мушкетовит, магнетитын хэд хэдэн төрөл (зөв давтамжит бүслүүрлэг бүтэцтэй, найрлагын хувьд бүслүүрлэг бүтэцтэй, цэцэгт байцаа маягийн), халькопирит болон пирит тохиолдоно. δ¹⁸O нь бүх төрлийн магнетитад -5.9 – 2.8 ‰, кварцад 10.5–14.9 ‰, эпидотуудад 3.6–6.6 ‰ тус тус тогтоогдож магнетит-кварцын хослолоор хүдэр үүслийн температур нь ойролцоогоор 300°C. Бүх төрлийн магнетитуудын усны утга нь 300°C-д 2-оос 10‰ байдаг (Oyunjargal *et al.*, 2020).

2.2 Төмөрлөг кварцитын орд

Төмөрлөг кварцитын ордууд нь Архейгаас Палеоген хүртлэх насны тунамал чулуулагт үүсэх хэдий ч хамгийн их ач холбогдолтой нөөц ихтэй ордууд нь Архейгаас Палеопротерозойн насанд хуримтлагдсан байдаг (James, 1983). Дэлхий даяар баяжуулаагүй төмөрлөг кварцит (таконит, итабирит) олборлодог олон тохиолдол байдаг хэдий ч гол бүтээгдэхүүн нь тодорхой бүс нутгийн хэмжээнд дахин баяжсан кварц агуулаагүй 60-70%-ийн Fe-тэй агуулгатай байдаг. Эдгээр ордууд нь дэлхий дээрх цор ганц металл буюу төмрийн хүдрийн асар их нөөцийг бүрдүүлдэг. Тэдгээрийн гарал үүсэл, тунамал шинж чанарыг тайлбарлах хэд хэдэн таамаглал дэвшүүлсэн (Trendall & Blockley., 1970; Morris & Horwitz., 1983; Garrels, 1987; Morris, 1993) байх боловч гэхдээ хамгийн сүүлийн үеийн загвар нь тэдгээрийг усан доорхи гидротермаль плюмээс нарийн ширхэгтэй коллоид химийн тунадас үүсдэг гэж үзэж байна (Isley, 1995). Тэдгээр нь булингар болон нягтын урсгалын нөлөөгөөр дахин тунадасжина (Krapez *et al.*, 2003; Lascelles, 2012). Үүний нэгэн адил бүтэц, давхаргазүйн хувьд үеллэг төмрийн формац нэгжүүдтэй холбоотой өндөр агуулгатай хүдрийн ордуудын гарал үүсэл нь олон тооны таамаглал, судалгаа,

маргааны сэдэв байсаар ирсэн. Литологийн хувьд ихэвчлэн Fe 20-40%, Si 40-50% агуулсан нарийн ширхэгтэй кварц, төмрийн исэл, карбонат эсвэл силикатуудын дараалсан үеүдээс бүрдэх нимгэн давхаргатай, давхарласан химийн тунамал чулуулаг (James, 1954; Trendall, 2002).

Үеллэг төмрийн формацын ордуудыг гарал үүслээр нь усан доорх галт уулын үйл ажиллагаатай холбоотой үүссэн Алгома, далайн шельфийн тунамал чулуулагт хуримтлагдсан Супериор, мөстлөгийн хурдастай холбоотой Рапитан гэсэн төрлүүдэд (Jargalan *et al.*, 2017) ялгагдах бөгөөд Хэрлэнгийн төмрийн хүдрийн металлогений бүсэд Дарцагт, Эрээний ордууд хамрагдана (Dejima *et al.*, 1996; Ukhnaa & Baasan 2016).

2.2.1 Алгома төрлийн төмөрлөг кварцит

Энэ төрлийн төмөрлөг кварцитийн орд нь төмрөөр баялаг эрдсүүд болон цахиурлаг занарын үеүдтэй химийн чулуулаг бөгөөд архейн ногоончулууны бүсүүдэд тунамал хэсгүүд эсвэл бимодаль субмарин галт уулын чулуулгуудтай үелэн давхарласан байдаг. Тэдгээрийн геологийн нөхцөл болон геохимийн баталгаа цахиурлаг занарын үеүдэд газрын ховор элементүүд (REE) болон иттри (Y) баялаг байгаа нь геохимийн анхдагч шинж тэмдгийг хадгалж, улмаар геологийн тогтоцыг хязгаарлаж болно. Канадын төмөрлөг кварцитын хэд хэдэн ордын цахиурлаг занарт геохимийн laser ablation-inductively coupled plasma-mass spectrometry (LA-ICP-MS)-аар судалгаа хийхэд тэдгээрт хүнд газрын ховор элементүүд нь лантан болон итрийн дахин баяжилттай холбоогдсон Fe-ийн оксигидроксидтай тэнгисийн ус нь харилцан үйлчлэлддэг, Eu-ийн эерэг гажил нь өндөр температурын (>250 °C) гидротермаль уусмал нөлөөлсөн, газрын ховор элементүүдийн харьцангуй тогтвортой концентраци болон Y/No (Y/No≈27) хондритын харьцаа хэмхдэсийн бохирдолтой байж болохыг илэрхийлжээ (Gourcerol *et al.*, 2016). Төмөрлөг кварцитын хуримтлах цаг хугацаанд цахиурлаг занарт ус-багана pH ≤ 5 нөхцөлд хүчиллэг, эерэг Ce/Ce* аномальтай, pH ≥ 5 нөхцөлд илүү шүлтлэг,

Fe-ийн оксигидроксид цахиурлаг үеүд дотор хуримтлагджээ. Анхдагч цахиурын (+27‰) δ¹⁸O нь диагенезийн явцад δ¹⁸OH₂O=0-5‰ шингэнтэй 100°C-аас бага температурт +8‰-аас +20‰ болж өөрчлөгджээ. Диагенезийн явцад O изотопын солилцоо явагддаг ч цахиурлаг занар дах газрын ховор болон хольц элементүүдийн бага концентраци нь далайн усны гаралтай шингэнд өөрчлөгддөггүй байна.

2.2.2. Рапитан төрлийн төмөрлөг кварцит

Рапитан төрөл нь олборлосон хүдрийн хэмжээгээр хамгийн бага ач холбогдолтой, төмөр агуулсан эрдэс нь гематит. Тэдний гарал үүсэл нь мөстлөг, дэлхийн мөстлөгийн үе болон хүрээлэн буй орчны өөрчлөлттэй нягт холбоотой, Баруун хойд Канадад байрлах мөстлөгийн гаралтай Рапитан тунамал групп чулуулгийн нэрээр нэрлэсэн. Дэлхийн далай бараг бүрэн мөсөөр бүрхэгдсэн тул агаар мандаас тусгаарлагдаж усны баганад агаар мандалд хүчилтөрөгч өгөхөөс өмнө байсан нөхцөл байдал буурах нөхцөл болжээ. Далайн усан дахь дэлхийн бараг бүх анокси нь ихэвчлэн мөстлөгийн үед буурч, далай дахин хүчилтөрөгчөөр хангагдах үед төмөрлөг кварцит нь усанд хуримтлагдсан төмрийн хэлбэрээр дахин гарч ирсэн байна. Неопротерозойн мөстлөгтэй холбоотой хамгийн алдартай төмрийн ордууд нь химийн тунах процессоор Рапитан төрлийн төмөрлөг кварцитууд нь зонхилон үүссэн. Нова Аврора хүдрийн дүүрэгт U-Pb болон Lu-Hf-аар детритал цирконы мөхлөгүүд дээр судалгаа хийхэд хуримтлалын хамгийн хөгшин нас нь 879 сая жил гэж тодорхойлогдсон. Энд гематитаар баялаг метадиамиктуудыг гематит (7-55%), кварц (17-57%), мусковит (2-40%), карбонат (<1-30%), биотит (<1-18%), хлорит (<1-23%), эпидот (<1-7%), магнетит (1-5%), хольцоор турмалин (<3%), апатит (<3%), циркон (<1%) зэрэг эрдсүүд бүрдүүлдэг байна (Francisco *et al.*, 2021).

2.2.3. Супериор төрлийн төмөрлөг кварцит

Супериор төрлийн төмөрлөг кварцитийн алдартай

ордууд нь палеопротерозойн тунамал сав газарууд эсвэл эх газрын шельфийн гүехэн усанд тунамал чулуулагт хуримтлагддаг. Эдгээр ордууд нь Супериор нуурын орчимд асар ихээр тархсан учир Супериор нуурын төрөл гэж ангилах болсон. Супериор төрлийн хуримтлалууд нь хэдэн зуун метр зузаантай, хэдэн зуун километр хэвтээ чиглэлд сунасан өргөн цар хүрээтэй. Төмөр тархсан хамгийн чухал фаз нь гематит боловч магнетит хуримтлагддаг. Бие даасан төмрийн эрдсийн болон цахиурлаг тунамал үеүдийн зузаан нь 0.5мм-ээс 2.5см, тасралтгүй үргэлжилдэг (Австралийн Хамерслигийн сав газарт 100 км хүртэл) тэдгээрийн тунадасжилтад ууршилт гол үүрэг гүйцэтгэжээ. 2.7-оос 1.8 тэрбум жилийн өмнөх энэ цаг хугацаанд далайн болон агаар мандлын химийн найрлага нь одоогийнхоос эрс ялгаатай байжээ (өнөөгийн далайд төмөр нь бараг уусдаггүй, учир нь исэлдүүлэгч уур амьсгал нь уусдаггүй төмрийн нэгдлүүдийн хур тунадас үүсгэдэг). Архей-протерозойн эриний үед ихэнх далайн ус цахиурын исэлтэй (120 мг/л) ханасан гэж үздэг тул далай нь цахиурлаг занарын давхаргыг үүсгэдэг цахиурын их хэмжээний эх үүсвэр байсан. Канадын Лабрадор Троугийн болон Супериор нуурын, Бразилийн Серра дос Карахас, Өмнөд Африкийн Трансваал сав газрын болон Австралийн Хамерслигийн сав газруудад Супериор төрлийн ордуудаас олборлолт хийгдэж байна.

Хэрлэнгийн төмрийн металлогений бүс дэх Эрээн, Дарцагтын ордууд нь геологийн орчин нөхцлийн хувьд нэг Супериор төрлийн гарал үүсэлтэй төмөрлөг кварцитын ордууд юм.

Эрээний төмрийн хүдрийн ордын талбайд доод-дунд неопротерозойн настай Оорцог Овоо формацын янз бүрийн эрдсийн найрлага бүхий занар зонхилсон хурдас нь гарш илэрц муутай жижиг толгодын орой хэсгүүдээр цухуйц байдалтай ажиглагддаг. Оорцог Овоо формацын хурдас нь баруун хойд хэсэгт ЗХ 20-35 азимутаар сунасан ЗУ 40-50° уналтай байдаг бол энэ нь ордын баруун урд хэсэгрүү хагас дугуйрч БХ 310-325° азимутаар сунасан ЗХ 40-

50° уналтай. Ордын хүдрийн биет нь гадаргууд тархсан байдлаараа зэрэгцээ байрлалтай давхарга линз маягийн биетүүд нь гүндээ нэгдэж зузаан үеүүд үүсгэдэг. Агуулагч занар нь зарим хэсэгтээ серицитжилт, хлоритжилт, лимонитжилт зэрэг хувиралд орсон байна. Хүдрийн биетийн зузаан нь гадаргууд 2-30 м, гүнрүүгээ зарим цооногт 160 орчим м, суналын дагуу 5-800 м урт сунаж линз, мэшил хэлбэрийн биет үүсгэн тогтжээ.

Дарцагтын орд зүүн хойшоо чиглэлтэй сунаж тогтсон байх ба төмрийн хүдрийн биет нь доод-дунд неопротерозойн настай Оорцог Овоо формацын шохойн чулуутай дээд болон доод хилээрээ нийцлэг байрлах занар, алевролитын дотор байрлана. Ордын төв болон зүүн хэсэгт, неопротерозойн карбонатлаг хувирмал хурдас тархсан ба литологийн хувьд шохойн чулуу, занар зонхилно. Занар нь хэсэг бүр дээр харилцан адилгүй хувирлын зэрэгтэй, суналын чиглэл нь зүүн хойш, хойш ба чиглэлтэй байх ба уналын өнцөг нь 25-60° байна. Хүдрийн биетийн зузаан нь гадаргууд 60 м, гүнрүүгээ зарим цооногт 40 орчим м, суналын дагуу 200 м урт сунаж линз, мэшил хэлбэрийн биет үүсгэж тэдгээрийн ойролцоо хлоритжих, цахиржих, серицитжих болон лимонитжих хувирал явагдсан байдаг.

2.3 Скарн

Скарн нь бүс нутгийн болон хил заагийн метаморфизмд магмын, метаморф, гадаргын (метеорик) эсвэл тэнгисийн зэрэг олон гарал үүсэлтэй уусмалуудаас янз бүрийн метасоматоз процесст үүсдэг. Скарн гарал үүсэлтэй ордуудыг үүссэн геологийн орчин нөхцөл, ашигт элементүүдээр нь Fe, Cu, Au, Mo, Sn, W болон Zn-Pb-ны дэд төрлүүдэд ангилдаг байна. Эдгээр нь зэрэгцээ байрлах плутонууд, хагарал болон шилжилтийн бүсүүд дагуу, бага гүний гидротермаль системд, далайн ёроолд, гүнд дарагдсан метаморф террейн дэх цардддасын доод гүнд олддог. Төмрийн скарн гарал үүсэлтэй ордуудыг кальцилаг (Эмпайр, Ванковерийн Арал, Шиняама), магнилаг (Корнволл, Ийгл

Моунтайн) болон скаполит (альбит)-лаг (Сарбай, Катар) гэж ангилан иржээ. Эдгээр ордууд нь үндсэндээ кальци-силикат заагийн метасоматит чулуулаг дахь магнетитаас тогтдог. Эдгээр төмрийн скарны үе шатууд, үүсэх хүдрийн болон хүдрийн бус эрдсүүдийг хүснэгт 1-ээс харж болно.

Кальцийн магнетит скарнууд нь суурилаг найрлагатай төмрөөр баян интрузив нь доломит эсвэл шохойн чулуу, граувакк, элсэнчулуу болон вулканоген чулуулагруу түрсэнээр далайн арлан нумд үүсдэг. Скарны эрдсүүд нь төмрөөр баялаг гранат болон пироксен байх бөгөөд бага зэрэг эпидот, ильваит болон актинолитаос тогтдог (Purtoy *et al.*, 1985). Цул нягт магнетитын хүдэр нь үелэг эсвэл линзлэг байх бөгөөд орон зайн хувьд гранатын бүс эсвэл шохойлог-силикатлаг бүсүүдийн цаана шохойн чулуунд үүсдэг.

Магнитай магнетит скарнууд нь эх газрын дагуух ороген бүсүүдэд шилжилтийн бүс болох доломит эсвэл шохойн чулуу, кварцит, занар дотор хүчиллэг плутоннтай ассоциаци үүсгэх, зэсээр баялаг эсвэл вольфрамын скарн ордуудтай дүүрэгт үүсдэг. Магнитай скарнуудад үндсэн эрдэсүүд нь төмөр их хэмжээгээр агуулагүй форстерит, диопсид, периклаз, тальк, серпентин байх бөгөөд уусмал

дахь бэлэн төмөр нь андрадит эсвэл геденбергит үүсгэхээсээ илүү магнетит үүсгэх хандлагатай (Hall *et al.*, 1989).

Ихэнх скаполит-(альбит) төмрийн скарны ордууд нь гарал үүслийн хувьд габбролог болон диоритлог магмын хожуу үе шаттай холбоотойгоор сав газрын вулканоген-тунамал давхарга (андезит, туф, шохойнчулуу болон аргиллит)-д ялгарсан байдаг. Невада мужын Гумбольдт скаполит-(альбит) төмрийн скарны төрлийн ордод Cd нь 15ppm хүртэл агуулгатай байдаг.

Магнетит нь гадаргуугийн нөхцөлд тогтвортой байдаг бөгөөд механик элэгдлийн үед урсгалын сарнилын хүрээнд хүнд ашигт эрдэс хэвээр үлддэг байна.

Штокверкийн судлууд нь суурьлаг галт уулын чулуулгаар хучигдсан хувирсан габброд байж болно. Хүдрийн биетүүд нь давхарга, линзлэг, хавтгайлаг заримдаа энгийн биш хоолой шиг хэлбэртэй, хэдэн арваас зуун метрээс зузаантай, суналын дагуу 4 км-ээс хэдэн зуун метр хүртэл сунасан байдаг. Хүдэр нь ганц магнетитын судлууд, подууд (pods), үеүд, линзүүд эсвэл магнетитаар баялаг нимгэн үеүд, үеүд нь хүдрийн бүс эрдсүүдтэй ээлжилсэн байдаг.

Хүснэгт 1. Хүдрийн, хүдрийн бус эрдсүүд болон бүсүүд

Төмрийн скарны төрөл	Түрүү үе шат	Хожуу үе шат	Хүдэр
1 Ca-Fe	Гранат (гроссуляр-андрадит), пироксен (ферросалит)	Амфибол, хлорит, эпидот	Магнетит, халькопирит, кобалтит, пирротин
2 Mg-Fe	Форстерит, кальцит, шпинель, диопсид, магнетит, апатит, лудвигитын групп эрдсүүд	Амфибол, хумит, серпентин, флогопит, тальк, хлорит, хондродит, магнеүит, клинохумит	Магнетит, пирит, халькопирит, сфалерит, пирротин, арсенопирит
3 Скаполит-Fe	Гранат, пироксен	Скаполит, альбит, хлорит, кальцит, циолит, актинолит, эпидот, апатит, кварц, пренит, сфен	Магнетит, гематит, пирит, маркаүит, халькопирит, сфалерит, пирротин, арменопирит

Баргилтын төмрийн ордод мезопротерозойн настай гнейс, кварцит, амфиболит, биотит-амфиболтай гнейс, талст занар, гантигжсан шохойнчулууг түрүү-дунд пермийн настай лейкократ гранит, пегматит, гранодиоритын найрлагатай Бүрэнцогт бүрдэл түрэн гарч хил заагийн скарныг бий болгожээ. Мезопротерозой

тунамал терриген метаморф хурдас болон түрүү-дунд пермийн настай гранитойдуудыг Бүрэнцогт формацийн трахиандезибазальт, трахиандезит, риолит, трахириолит, трахиандезит-дацит, трахидацитүүд хучна. Дээд триас- доод юрын аплит маягийн гранит, эгирин-рибикиттэй шүлтлэг гранит, сиенит, кварцтай сиенитийн

найрлагатай Бор-Өндөр бүрдэл нь дээрх хөгшин насны хурдсаа зүссэн ажиглагддаг. Ордын төв болон баруун хэсгээр плейстоцен-голоцены сэвсгэр хурдас болох дайрга, элс, хайрганцар, шавранцар, элсэнцэр тархана. Тус орд нь Холбоо-Майханы хагарлын өргөгдлийн бүсийн хил орчимд байрлана (Bat-Erdene *et al.*, 1987; Tsatsraltgerel *et al.*, 2022).

Орд нь магмын болон постмагмын гэсэн хоёр үе шаттайгаар хэлбэржин тогтсон. Магмын үе шатанд палеозойн гранит мезопротерзойн доломит, гранит гнейсийг хил заагийн хувиралд оруулж магнийн скарн болон бага хэмжээний магнетитийн хүдэржилт үүсгэсэн байна. Постмагмын шатанд хүчтэй метасоматоз хувирал явагдаж хүдрийн эрдэс ихээр агуулагдсан хурдас чулуулаг бий болсон (Orgil *et al.*, 2009). Энэ ордын хүдрийн бус эрдсээр серпентин, оливин, моноклин пироксен, иддингсит, амфибол болон кальцит тааралдана. Харин хүдрийн гол эрдэс нь магнетит байж халькопирит, сфалерит, галенит, мольбденит, пирит болон кубанит бага зэргээр ялгарчээ (Tsatsraltgerel *et al.*, 2022). Магнетит нь серпентиний хувирлаар үүсэж болох хэдий ч кубанит нь магмын гаралтай төмрийн ордод тохиолддоогоороо тус ордын гарал үүслийг дахин нягталж судлах шаардлагатай тулгарч байна.

3. Дүгнэлт

Дэлхийн хэмжээнд томоохон ТИА болон ТИЗА-ны төрлийн ордууд нь Fe, Cu-Au-ны хүдрээс бүрдэж гол төлөв дагалдагчаар P, REE, Co, Ag болон U зэрэг элементүүдийг их хэмжээтэй агуулдаг. ТИЗА-ны төрлийн ордууд нь гүний хагарал дагаж эртний настай хурдас чулуулагтай холбоотойгоор үүснэ. Магнетитын ТИЗА-ны төрлийн ордууд нь Na-Ca эсвэл Na-ийн болон потассик хувирлуудтай, хүдрийн биетүүд нь брекчи, судал хэлбэртэй, хүдэр үүсгэгч уусгамалууд нь хөнгөн хүчилтөрөгийн изотоптой магмын болон метаморф гарал үүсэлтэй байхад гематитын ТИЗА (Чандмань Уул) -ны төрлийн ордууд нь бага зэргийн потассик, хүдрийн биетүүд

нь серицит-хлоритжих хувиралдаа агуулагдаж хүдрийн биетүүд нь брекчи, линз хэлбэртэй, хүдэр үүсгэгч уусгамалууд нь харьцангуй хүнд хүчилтөрөгийн изотоптой магмын уусмал нь метиорик уусмал холилдож хүдэржилтийг бий болгодог байна.

Архейгаас Палеопротерозойн насанд төмөрлөг кварцитын нөөц ихтэй ордууд хуримтлагдана. Үеллэг төмрийн формацийн ордуудыг гарал үүслээр нь Алгома, Супериор, Рапитан гэсэн төрлүүдэд ангилна. Алгома төрлийн ордууд нь Eu-ийн эерэг гажил нь өндөр темпратурын гидротермаль уусмал нөлөөлсөн, анхдагч цахиурын $\delta^{18}\text{O}$ нь диагенезийн явцад 100°C -аас бага темпратурт $+8\%$ -аас $+20\%$ болж өөрчлөгдсөн нь диагенезийн явцад O изотопын солилцоо явагддаг ч цахиурлаг занар дах газрын ховор болон хольц элементүүдийн бага концентраци нь далайн усны гаралтай шингэнд өөрчлөгддөггүй болохыг илэрхийлсэн. Рапитан төрөл нь дэлхийн далай бараг бүрэн мөсөөр бүрхэгдэж агаар мандлаас тусгаарлагдах үед далай дахин хүчилтөрөгчөөр хангагдах мөчид төмөрлөг кварцит нь усанд хуримтлагдана. Супериор төрлийн төмөрлөг кварцитийн алдартай ордууд нь палеопротерозойн тунамал сав газарууд эсвэл эх газрын шельфийн гүехэн усанд тунамал чулуулагт хуримтлагддаг. Геологийн орчин нөхцлийн хувьд Хэрлэнгийн төмрийн металлогений бүсэд Эрээн, Дарцагтын ордууд нь энэ төрлийн гарал үүсэлтэй. Эдгээр ордуудад неопротерозойн настай шохойнчулуу, занар, цахиурлаг занар, алевролитын үеүдтэй Оорцог Овоо формац нь дээд юр-доод цэрдийн настай андезит-дацит, дацитын найрлагатай Цагаан цав формацаар зүсэгдэж, доод цэрдийн настай Шинэхудаг формацын улаан өнгийн шавар, элсэнчулуу, алевролитын үеүдтэй хурдсаар, ордын өмнөд, баруун болон хойд хэсгээр орчин үеийн хурдсаар хучигдсан байдаг. Хүдрийн биетийн ойролцоо хлоритжих, цахиржих, серицитжих болон лимонитжих хувирлууд ажиглагдана. Төмрийн скарн гарал үүсэлтэй ордуудыг кальцилаг, магнилаг болон скаполит (альбит)-лаг

хэмээн ангилна. Кальцийн магнетит скарнууд нь суурилаг найрлагатай төмрөөр баян интрузив нь доломит эсвэл шохойнчулуу, граувакк, элсэнчулуу болон вулканоген чулуулагруу түрсэнээр төмрөөр баялаг гранат болон пироксен, бага зэрэг эпидот, ильваит болон актинолитууд ялгарч үелэг, линзлэг хэлбэртэй хүдрийн биетүүдийг бий болгоно. Магнитай магнетит скарнууд нь доломит, шохойнчулуу, кварцит, занар дотор хүчиллэг плутонтай ассоциаци үүсгэж төмөр багатай форстерит, диопсид, периклаз, тальк, серпентин, магнетит зэргийг үүсгэдэг. Скаполит-(альбит) төмрийн скарны ордууд нь гарал үүслийн хувьд габбролог болон диоритлог магмын хожуу үе шаттай холбоотойгоор сав газрын вулканоген-тунамал чулуулагт ялгарна. Хүдэр нь ганц магнетитын судлууд, подууд (pods), үеүд, линзүүд эсвэл магнетитаар баялаг нимгэн үеүд, үеүд нь хүдрийн бус эрдсүүдтэй ээлжилдэг. Баргилтын төмрийн ордод мезопротерозойн настай чулуулгуудыг түрүү-дунд пермийн настай Бүрэнцогт бүрдлийн гранитоидууд түрэн гарч хил заагийн магнилаг скарних процесс явагджээ. Тухайн ордод хүдрийн бус эрдсээр серпентин, оливин, моноклин пироксен, иддингсит, амфибол болон кальцит, хүдрийн эрдсээр магнетит, халькопирит, сфалерит, галенит, молибденит, пирит болон кубанит ялгарчээ.

Ишлэл

- Chen, H. (2013) External sulphur in IOCG mineralization: implications on definition and classification of the IOCG clan. *Ore Geology Reviews*, 51, 74–78.
- Dejima, G., Bujinlkham, B., Eviihuu, A., Enkhtuya, B., Ganbaatar, T., Munkh-Erdene, N. and Oyuntuya, N. (1996) Distribution map of deposits and occurrences in Mongolia (scale 1:1,000,000). *Geologic Information Center, Mineral Resources Authority of Mongolia, Ministry of Industry and Trade of Mongolia, Ulaanbaatar, Open-File Report*, 280.
- Francisco, T.V., Antonio, P.S., Marly, B., Cristiano, L., Ricardo, I.F.T, Eduardo, S. (2021) Diamicritic iron formation (DIF) deposits of the Neoproterozoic Nova Aurora Iron District (Macaébas Group, Southeast Brazil). *Journal of South American Earth Sciences*, 112(2), 103614.
- Frietsch, R. (1970) Trace elements in magnetite and hematite mainly from northern Sweden: Aarsbok, Sveriges Geologiska Undersokning, 64, 136.
- Garrels R.M. (1987) A model for the deposition of the microbanded Precambrian iron formations. *American Journal of Science* 287, 81–106.
- Gourcerol, B., Thurston, P.C., Kontak, D.J., Сртй-Mantha, O., Biczok, J. (2016) Depositional setting of Algoma-type banded iron formation. *Precambrian Research*, 281, 47-79.
- Hall, C. M. (1989) Hallmark Tourist Events: Analysis, Definition, Methodology and Review. In: Syme, G. J.; Shaw, B. J.; Fenton, D. M.; Mueller, W. S. (ed.), *The Planning and Evaluation of Hallmark Events*. Avebury, Aldershot.
- Hauck, S.A. (1990) Petrogenesis and tectonic setting of middle Proterozoic iron oxide-rich ore deposits: An ore deposit model for Olympic Dam-type mineralization: U.S. Geological Survey Bulletin B-1932, 4–39.
- Hitzman, M.W., Oreskes, N., Einaudi, M.T. (1992) Geological characteristics and tectonic
- Isley A. E. (1995) Hydrothermal plumes and the delivery of iron to banded iron formation. *Journal of Geology* 103, 169–185.
- James H.L. (1954) Sedimentary facies iron-formation. *Economic Geology*, 49 (3), 235–293.
- James H.L. (1983) Distribution of banded iron-formation in space and time. In: Trendall A. F. & Morris R. C. eds. *Banded Iron -Formation: Facts and Problems*. Elsevier, Amsterdam. 471–490.
- Jargalan, S., Enkhjargal, B., Altankhuyag, D. (2017) Ore deposits. Ulaanbaatar, Mongolia 11-25p. (in Mongolian).
- Kisvarsanyi, G., and Proctor, P.D. (1967) Trace-element content of magnetites and hematites, southeast Missouri iron metallogenetic province, U.S.A: *Economic Geology*, 62, 449–471.
- Lascelles D. F. (2012) Banded iron formation to high-grade iron ore: a critical review of supergene enrichment models, *Australian Journal of Earth Sciences*, 59:8, 1105-1125.
- Mitchell, R.H., Krouse, H.R. (1975) Sulfur isotope geochemistry of carbonatites. *Geochim. Cosmochim. Acta* 39, 1505–1513.
- Morris R.C and Horwitz R.C. (1983) The origin of the iron-formation-rich Hamersley Group of Western Australia – deposition on a platform. *Precambrian Research* 21, 273–297.
- Morris. R. C. (1993) Genetic modelling for banded iron-formation of the Hamersley Group, Pilbara Craton, Western Australia. In: Blake T. S. & Meakins A. eds. *Archean and early Proterozoic geology of the Pilbara Region, Western*

- Australia. *Precambrian Research* 60, 243–286.
- Oyunjargal, L., Hayashi, K. and Maruoka, T. (2020) Geological, mineralogical, and oxygen isotope studies of the Chandmani Uul iron oxide–copper–gold deposit in Dornogobi Province, Southeastern Mongolia. *Resource Geology*, 70, 233–253.
- Purtov, V. K., Yatluk, G. M. and Anfilogov, V. N. (1985) The Fe, Mg, Si, and Al ratios in chloride solutions at 873 K and 101 MPa in relation to limestone skarning. *Doklady AN SSSR*, 275(4): 1003–1006.
- Roger G. S. (2022) Iron oxide copper-gold (IOCG) deposits – A review (part 1): Settings, mineralogy, ore geochemistry and classification, *Ore Geology Reviews*, 140, (104569).
- setting of Proterozoic iron oxide (Cu\U\Au-REE) deposits. *Precambrian Res.* 58,
- Trendall A.F and Blockley J.G. (1970) The iron formations of the Precambrian Hamersley Group, Western Australia, with special reference to the associated crocidolite. *Geological Survey of Western Australia Bulletin* 119, 353.
- Trendall A.F. (2002) The significance of iron-formation in the Precambrian stratigraphic record. *Int Assoc Sedimentology Spec Publication*, 33, 33–66.
- Ukhnaa, G. and Baasan, B. (2016) Iron deposits in Mongolia. Ulaanbaatar: GCOM 283 p. (in Mongolian).
- Walter L. Pohl. (2011) *Economic Geology principles and Practice*. 149-159.
- Williams, P.J., Barton, M.D., Jhonson, D.A., Fontbotй, L., de Haller, A., Mark, G., Oliver, N.H.S. and Marschik, R. (2005) Iron oxide–copper–gold deposits: geology, space–time distribution, and possible models of origin. In: Hedenquist, J.W., Thompson, J.F.H., Goldfarb, R.J. and Richards, J.P. (Eds.) *Economic Geology 100th Anniversary Volume*. Littleton: Society of Economic Geologists Inc., 371–405.