

Эрдэм шинжилгээний өгүүлэл

## Агуйт төмрийн илрэлийн эрдэслэг бүрэлдэхүүний судалгаа

М.Ренчин<sup>1,2</sup>, С.Оюунгэрэл<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Монгол Улсын Их Сургууль, Шинжлэх Ухааны Сургууль

<sup>2</sup>Цвд ХХК

### Холбоо барих зохиогч:

С.Оюунгэрэл,

Имэйл: [soyungere@num.edu.mn](mailto:soyungere@num.edu.mn)

**Түлхүүр үгс:** Хөх-Өндөр уул,  
ЕРМА, Оливин, Гарцбургит,  
Пироксенит, Магнетит, Ильменит,  
Пентландит, Халькопирит.

### Abstract

This study was conducted to determine the structure, mineral composition, and origin of magnetite mineralization hosted within deep-seated ultramafic to mafic intrusive rocks of Cambrian age, located in the Khukh-Undur Mountain area, a subrange of the Khantaishir Range, near Biger soum, Gobi-Altai Province. These igneous bodies are intruded into the Khantaishir Metacomplex, which predominantly consists of hornblende-bearing granitic gneiss, dioritic gneiss, medium-grained amphibolite, and migmatites. Geological mapping, sampling, petrography, ore microscopy, and electron probe microanalysis (EPMA) were employed as primary investigation methods.

Petrographic analysis revealed that the studied samples are mainly composed of ultramafic plutonic rocks such as olivinite (harzburgite) and pyroxenite.

Ore microscopic observations identified magnetite, chromite, hematite, pentlandite, and chalcopyrite as primary ore minerals, occurring as disseminated, vein-type, and massive textures within the host rocks. Magnetite occurs in two distinct stages, indicating both early and late magmatic origins.

EPMA results show that magnetite contains  $t\text{FeO} = 81.06\text{--}88.22\%$ ,  $\text{V}_2\text{O}_3 = 0.58\text{--}0.96\%$ , and  $\text{TiO}_2 = 0.76\text{--}3.34\%$ , supporting its magmatic origin. In some zones,  $t\text{FeO}$  content decreases ( $36.67\text{--}41.32\%$ ) and  $\text{TiO}_2$  increases ( $52.31\text{--}55.75\%$ ), suggesting the presence of ilmenite phases. Chalcopyrite shows compositions of  $\text{Cu} = 30.35\text{--}34.12\%$ ,  $\text{Fe} = 29.94\text{--}30.77\%$ , and  $\text{S} = 27.73\text{--}35.63\%$ .

These findings suggest that the magnetite and ilmenite mineralization in the study area formed from magmatic processes in two stages and is associated with sulfide minerals such as pentlandite and chalcopyrite. This indicates the presence of massive iron-titan-nickel-copper mineralized bodies with economic potential. The study provides fundamental data for further research on ore genesis and for planning exploration activities in the region.

### 1. Оршил

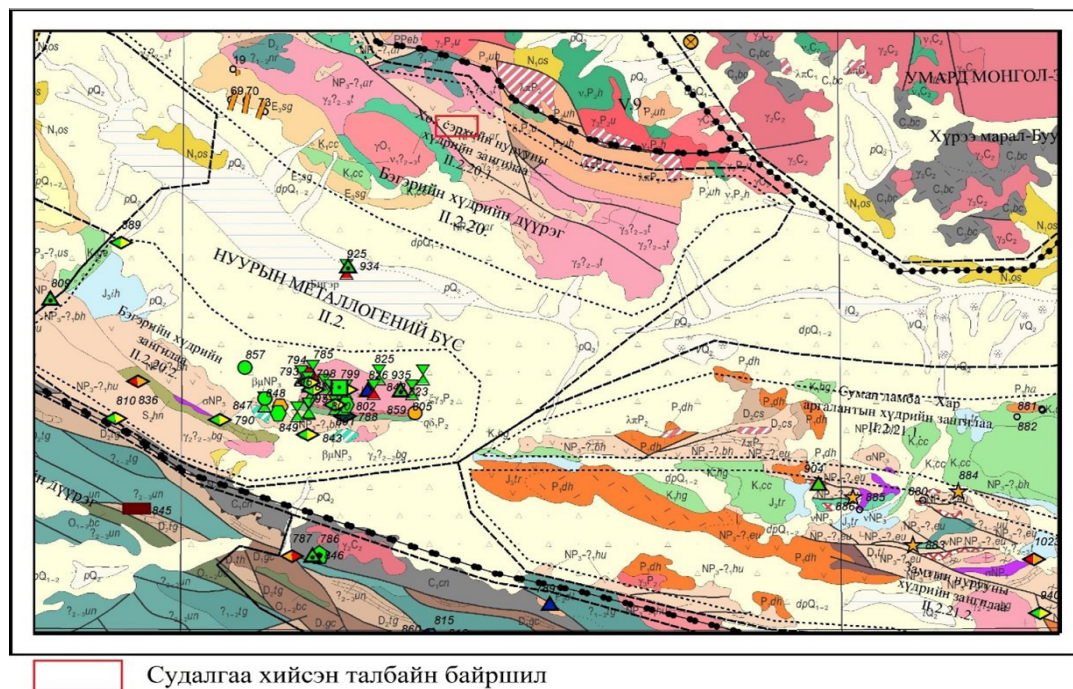
Судалгааны талбай нь Говь-Алтай аймгийн Бигэр сум, Хантайширын нурууны салбар уул, Хөх сэрх уулын баруун урд оршино. Талбай нь Монгол орны Металлогений ангиллаар Нуурын Металлогений бүс, Бигэрийн хүдрийн дүүрэг, Хөх Сэрхийн нурууны хүдрийн зангилаанд хамаарна (Зураг 1) (Дэжидмаа нар., 2021). Судалгааны талбайн орчимд 1983 оноос эхэлсэн 1:200 000 масштабтай бүлэгчилсэн зураглалын ажлаар

(Раузер нар.,1986) геологийн судалгааны ажлын суурь тавигдсан бөгөөд талбайн зүүн урд талд “Эмээлцэгийн нуруу” 1:50 000-ны масштабын Геологийн зураглал ерөнхий эрлийн ажил (Пүрэвсүрэн нар.,2016) зэрэг судалгааны ажлууд хийгдсэн. Энэ судалгааны ажил нь 2018 онд эрлийн маршрут, 1:50 000 масштабтай Геологийн зураглалын ажлаар эхлэн, 2021 онд Д.Өгөөдэй нарын (хэвлэгдээгүй үр дүн) судлаачдын хийсэн 1:10 000 масштабтай геологийн эрэл, зураглалын

ажлаар илэрсэн кембрийн ангилалдаагүй хэт суурилаг, суурилаг найрлагатай гүний чулуулгийг гол талбараа болгосон бөгөөд тухайн чулуулаг нь Хантайшир метакомплексийн хурдсын суналын дагуу байрлалтай жижиг силл, мэшил хэлбэрийн биетүүдээр зонхилон илэрнэ. Тухайн чулуулагтай холбоотой магнетитийн хүдэржилт бүхий жижиг линз маягийн биетүүд тогтоогдсон бөгөөд дээрх хүдэржилтийн онцлог, гарал үүслийн төрөл болон структурыг тогтоох зорилгоор тус судалгааны

ажил хийгдэж байна.

Энэхүү өгүүлэлд эрлийн ажлын үед хийгдсэн хээрийн судалгааны ажил болон петрографийн, минераграфийн, ЕРМА-ийн буюу хүдрийн эрдсийн химийн найрлагын судалгааны ажлуудын үр дүнд тулгуурлан хэт суурилаг болон суурилаг чулуулагт илрэх хүдэржилт, хүдэржилтийн найрлага, гарал үүслийн таамаглал, хүдэржилтийн төрлийг тодорхойлох талаар бичсэн болно.



Зураг 1. Судалгааны талбайн байршил. Зургийг Монгол улсын Металлогены зургаас хэсэгчлэн авав (Дэжидмаа нар., 2021).

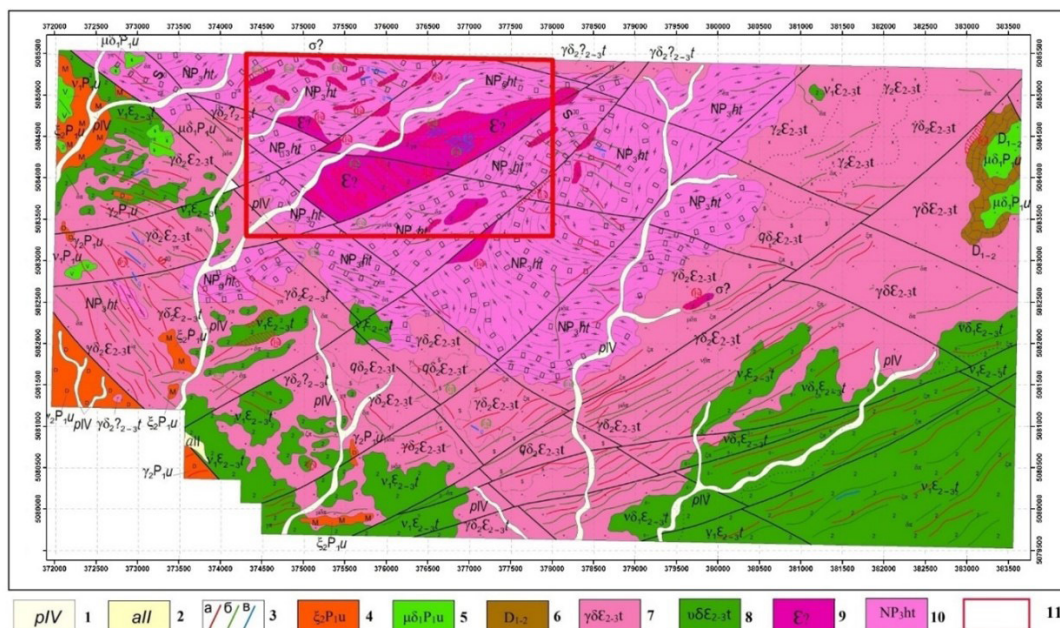
## 2. Геологийн тогтоц

Судалгааны ажил хийж буй талбай нь Монгол орны тектоник мужлалын ангиллаар Нуурын арлан нумын террейний Улааншандын субтеррейнд хамаарна (О.Төмөртогоо., 2012). Судалгааны талбайн суурь структурыг илэрхийлэгч неопротерозойн Хантайшир метакомплекс хурдас нь габбро-амфиболитын фацийн түвшний метаморфизмд автсан жигд дунд, дунд том ширхэгт биотит-эвэрхуурмагт

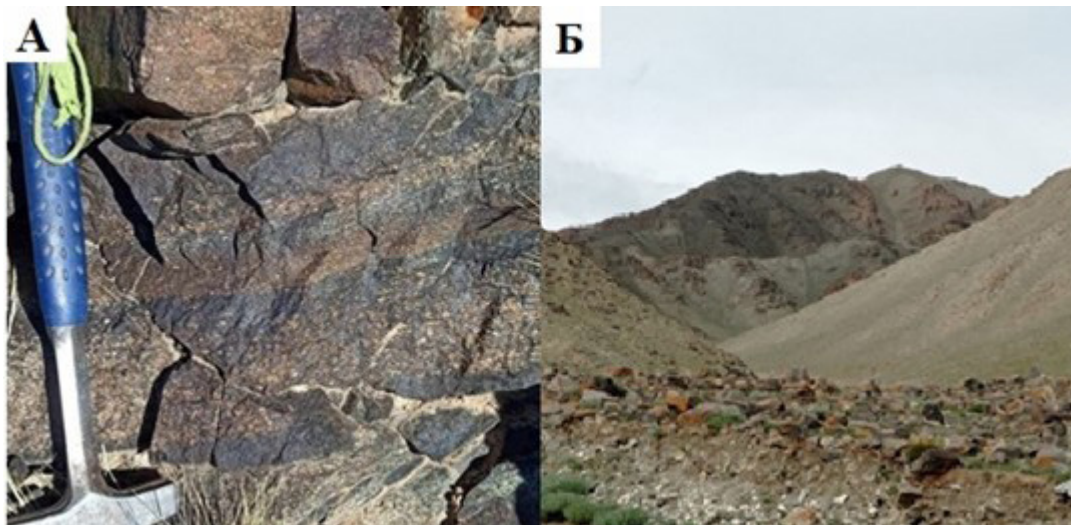
гранит гнейс, диорит гнейс, дунд том ширхэгт амфиболит, мигматитаас зонхилон тогтоно (зураг 2) (Раузер нар.,1986). Хантайшир метакомплексийн хурдас дунд хурдсын суналын дагуу байрлалтай хэт суурилаг, суурилаг гүний чулуулаг жижиг цухуйц болон хэдэн зуун метр үргэлжлэх томоохон биет байдалтай илэрсэн. Мөн дунд-хожуу кембрийн Тогтохын шил бүрдэл нь судалгааны талбайд голлох 2 фазын бүтэцтэй илэрсэн. Тус бүрдлийн чулуулаг

(Хантайшир массив) нь урд талаараа баруун хойш 3000-ийн чиглэл бүхий уулс хооронд том хөндий үүсгэн тогтох томоохон хагарал болон Голоцен, Плейстоцений хурдсаар хучигдсан байдалтай хиллэж байна. баруун хойш 3000-ийн чиглэл бүхий уулс хооронд том хөндий үүсгэн тогтох томоохон хагаралаар Вендийн Хантайшир Формацийн чулуулагтай хиллэдэг бөгөөд дунд талаараа Пермийн Улаанчулуут (P2u) бүрдлийн томхон биетээр түрэгдсэн байдалтай тархжээ.

Судалгааны талбайн баруун урд хагаст Улаанчулуут бүрдлийн чулуулгуудыг “Эмээлцэгийн нуруу-50” төслийн хүрээнд Сэрхи-Уул массив гэж ангилсан бөгөөд тухайн массив нь II фазын жижиг мөхлөгт диорит, шүлтлэг диорит, III фазын Сиенит, Боржин сиенит, IV фазын нь жижиг том мөхлөгт шүлтлэг гранит, биотиттой гранит тархсан байна (Пүрэвсүрэн нар., 2016).



Зураг 2. Судалгааны талбайн геологийн зураг: 1-Орчин үеийн пролювийн хурдас, 2-Плейстоцений том мөхлөгт конгломерат, 3-Дэл судлын чулуулгууд, 4-Улаагчин бүрдэл: гранит, кварцат сиенит, сиенит, 5-Улаагчин бүрдэл: габбро-диорит, монцонит, монцодиорит, 6-Девоны шохойн чулуу, 7-Тогтохын шил бүрдэл: гранит, grano-диорит, кварцат-диорит, 8-Тогтохын шил бүрдэл: габбро, габбро-диорит, пироксенит, 9-Кембрийн дунит, пироксенит, гарцбургит, 10-Хантайшир метакомплекс: гранит-гнейс, диорит-гнейс, амфиболит, мигматит, 11-Судалгаа хийсэн талбайн байршил.



Зураг 3. а) Хэт суурилаг чулуулгийн гарш б) Судалгааны талбайн харагдах байдал

### 3. Судалгааны ажлын арга аргачлал

#### 3.1. Дээжийн тодорхойлолт

Тус судалгааны ажил нь хээрийн судалгааны ажил болон лабораторийн судалгааны ажил гэсэн 2 үндсэн хэсэгтэй. Хантайширын нурууны салбар “Хөх-Өндөр” уул орчимд хийгдсэн хээрийн судалгааны ажлын үеийн шлиф, аншлиф, анхдагч геохимийн зорилгоор хийгдсэн сорьцуудаас 4 дээжид петрографи, 11 дээжид минераграфи болон 3 дээжид хүдрийн эрдсийн химийн найрлага тодорхойлох шинжилгээг ЕРМА “JEOL, JXA-8530F”-ийн шинжилгээг хийлгэж үр дүнд боловсруулалт хийлээ.

#### 3.2. Петрографи, минераграфийн судалгааны арга аргачлал

Петрографи болон минераграфийн судалгааг Геологийн Судалгаа Шинжилгээний төв ТӨҮГ-н “Olympus VX-53”, МУИС-ийн ШУС-ийн БУС-ын Геологи, Геофизикийн тэнхимийн Геологийн Суурь Судалгааны Лабораторид “Motic BA310Pol” маркийн туйлширсан болон ойсон гэрлийн микроскопыг ашиглан чулуулгийн эрдэслэг бүрэлдэхүүн, тэдгээрийн хувирал, хүдрийн эрдсүүдийн найрлага, гарал үүслийн дэс дарааллыг тодорхойлолоо.

#### 3.3. Электрон микронзондын шинжилгээний арга аргачлал

Хүдрийн эрдсийн химийн найрлагыг тодорхойлох электрон микронзондын шинжилгээг ЕРМА “JEOL, JXA-8530F” багажаар Пусаны Үндэсний Их Сургуулийн Судалгааны Төвд гүйцэтгэсэн. Хурдасгах хүчдэл, цацрагийн гүйдэл болон зогсох хугацаа нь тус бүр 15.0 кВ, 10нА ба 20 мс/алхам тоолох хугацаа байв. Хүдрийн эрдсийн химийн найрлагын судалгаагаар 3 дээжүүдэд буюу 11-2-1 дугаартай дээжийн 9 цэгт, 3307/1 дугаартай дээжийн 20 цэгт, 3304/5 дугаартай дээжийн 18 цэгт CuO, NiO, FeO, V<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SO<sub>3</sub>, PbO, Ag<sub>2</sub>O, Au<sub>2</sub>O, ZnO, CoO, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub> агуулгыг тодорхойлсон ба Cu, Ni, Fe, V, S, Pb, Ag, Au, Zn, Co, Cr, Ti элементүүдийн агуулгыг 11-2-1 дугаартай дээжийн 12 цэг дээр тодорхойлов (Хүснэгт 3-1).

### 4. Судалгааны үр дүн

#### 4.1. Петрографийн судалгааны үр дүн

Петрографийн судалгаагаар панидиоморф структуртай дунд мөхлөгт оливинит (гарцбургит), панидиоморф структуртай жижиг дунд мөхлөгт пироксенит гэж тодорхойлсон. Петрографийн судалгааны ажил хийсэн дээжийн товч

тодорхойлолтыг доор авч үзвэл:

**Оливинит (гарцбургит) (дээж-3309/1)** нь эрдэслэг бүрэлдэхүүний хувьд оливин 60-65%, пироксен 15-20%, эвэрхуурмаг 5-10% голлон тогтох ба хүдрийн эрдэс 10-15% байна. Оливин нь зуйвандуу дугуй хэлбэртэй голдуу серпентинээр түрэгдэн, заримдаа серпентин дотор реликтээр хадгалагдан үлдсэн байна (Зураг 4-3309/1а). Пироксен нь призмлэг хэлбэртэй, 0.9-4.2мм-ийн хэмжээтэй, диопсид-геденбергитийн бүлэгт хамаарах бөгөөд бага зэрэг актинолитээр түрэгдсэн ба эвэр хуурмаг нь актинолитод хувирсан байна (Зураг 4-3309/1б). Хүдрийн эрдсүүд нь нийт агуулгын 10-15% -ийг эзэлж, голчлон серпенжсэн оливиний мөхлөг хооронд зөв бус хэлбэртэйгээр байрлана.

**Гарцбургит (дээж-3303/2)** нь эрдэслэг бүрэлдэхүүний хувьд хувирсан эвэрхуурмаг 47-49% оливин 30-35%, пироксен 15-20%, голлон тогтох ба хүдрийн эрдэс 1-3% байна. Оливин (Зураг 4-3303/2а) нь зуйвандуу дугуй хэлбэртэй, 1.0 мм-ээс 2.8 мм-ийн хэмжээтэй, нилээд ан цавархаг болж, түүний ан цавуудыг дагаж хүдрийн эрдэс, серпентин хөгжсөн байна. Пироксен нь призмлэг, хавтгайдуу хэлбэртэй, заримдаа эвэрхуурмагаар түрэгдэн, түүн дотор реликтээр тэмдэглэгдэнэ. Пироксений унтралын өнцөг нь  $<C:N_g=380-410$  байгаа нь диопсид-геденбергитын бүлэгт хамаарагдана. Пироксений хэмжээ нь 1.0 мм-ээс 2.6 мм-ийн хооронд хэлбэлзэнэ. Эвэрхуурмаг нь призмлэг, ромбодуу хэлбэртэй, 1.1 мм-ээс 4.8 мм-ийн хэмжээтэй, хэсэгчлэн актинолит, ховроор эпидотоор түрэгдсэн байхаас гадна пироксенийг түрж, түүний реликт мөхлөгүүдийг агуулна (Зураг 4-3303/2б). Акцессор эрдсээс хүдрийн эрдэс нь нийт агуулгын 1-3 орчим хувийг эзэлж, 0.02 мм-ээс 0.8 мм-ийн хэмжээтэйгээр гол төлөв судал, бичил шигтгээ маягийн ялгарлыг үүсгэн тааралдлаа. Хүдрийн эрдсүүдийн хэмжээ нь 0.01 мм-ээс 0.8 мм-ийн хэмжээтэйгээр хэлбэлзэнэ.

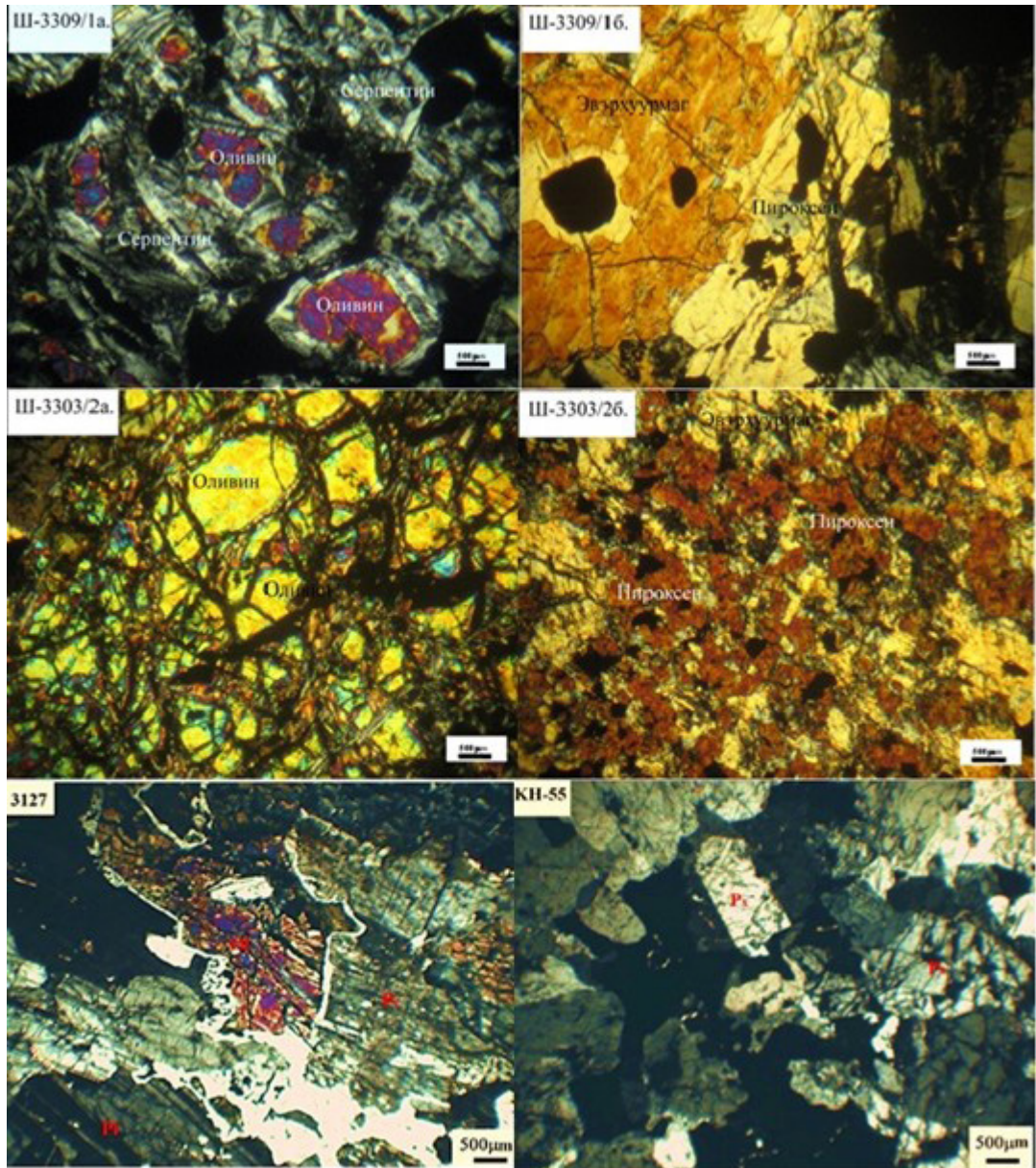
**Пироксенит (3127, КН-55)** нь эрдэслэг бүрэлдэхүүний хувьд пироксен-75%, серпентин-10-15%, хүдрийн эрдэс-10-15% байна.

Чулуулаг моноклин болон ромбо пироксенээс тогтох ба моноклин пироксен нь агуулгаараа давамгайлж байна. Пироксений зарим мөхлөгүүд нь карбонат, хлоритоор бага зэрэг, гистероген магнетит ялгаруулан серпентинээр хүчтэй түрэгдсэн байна. Серпентинээр хүчтэй түрэгдсэн хэсэгтээ торон маягийн бүтэцтэй болсон бөгөөд торны голд моноклин пироксен нь реликт байдлаар хадгалагдан үлдсэн нь сайн ажиглагдаж байна. Хүдрийн эрдэс нь зөв бус, тэгш өнцөгт, изометрлэг хэлбэртэй, 0.1-1.5мм-ийн хэмжээтэй мөхлөгүүдийг үүсгэсэн бөгөөд эдгээр нь заримдаа нэг дор бөөгнөрсөн, заримдаа цуварсан гинжин холбоос мэт ажиглагдана (Зураг 4).

#### 4.2. Минераграфийн судалгааны үр дүн

Хүдрийн эрдсийн судалгаагаар голчлон магнетит, бага хэмжээний пирротин, пентландит, халькопирит, хромит, бага хэмжээний гематит зэрэг эрдсүүд чулуулаг буюу хүдрийн бус эрдэст шигтгээлэг, судаллаг байдлаар агуулагдана.

**Дээж (11-2-1, КН-2)**-д магнетит, гематит, халькопирит, халькозин, хромит зэрэг хүдрийн эрдсүүд шигтгээ болон цул байдлаар агуулагдана. Хүчтэй соронзон шинж нь магнетит агуулсантай холбоотой. Магнетит нь боровтор туяатай саарал өнгөтэй, изотроп, хөндлөн огтлолдоо гурвалжин, тэгш ба олон өнцөгт, изометрлэг хэлбэртэй, бага зэрэг гематитаар хэсэгчлэн түрэгдсэн. Их хэмжээний магнетит мөхлөгүүд тасралтгүй тууз хэлбэрээр үүссэн байдаг. Түүний мөхлөгийн хэмжээ нь 0.0344x0.0326 мм-ээс 1.097x1.279 мм. Магнетит нь симплектит буюу жижиг өт маягийн ургалтыг үүсгэсэн. Гематит нь цагаан саарал өнгөтэй, урт сунасан, зөв бус хэлбэртэй. Халькопирит нь тод шар өнгөтэй, долгиолог хил заагтай, захаасаа халькозинээр түрэгдэж, шигтгээлэг байдлаар байна. Зарим нь хүдрийн бус эрдсээр коррозилдсон янз бүрийн хэмжээтэй шигтгээлэг агрегат үүсгэж байна. Мөхлөгийн хэмжээ нь 0.0465x0.047 мм-ээс 0.3340x0.3963 мм. Халькозин нь хөх саарал өнгөтэй, халькопиритийг багаар захаас нь эмжээрлэн түрж хөгжжээ (Зураг-5. 11-



Зураг 4. Петрографийн судалгааны микро зургийн тайлбар: Pl-Плагиоклаз, Ol-Оливин, Px-Пироксен, Amp-Амфибол, Mgt-Магнетит.

2-1.1). Хромит нь саарал өнгөтэй, изотроп шинжтэй, изометрлэг хэлбэртэй, 0.327x0.323 мм хэмжээтэй цөөн мөхлөг байна. Магнетиттэй хам ургалт үүсгэсэн (Зураг-5. 11-2-1.2).

**Дээж-3303/2-**д шигтгээлэг байдлаар магнетит, пирротин, бага хэмжээний гематитээс тогтсон. Магнетит агуулагдсантай холбоотойгоор

соронзонтой. Маш сарнимал сульфидууд (пирротин, пентландит) хүдрийн бус эрдэс дотор шигтгээгээр агуулагдана.

Магнетит нь 2 генерациар тохиолдоно. 1-р генерацийн магнетит нь боровтор туяатай саарал өнгөтэй, изотроп, хөндлөн огтлолдоо гурвалжин, тэгш ба олон өнцөгт, изометрлэг, зүүлэг

хэлбэртэй гематитаар хэсэгчлэн түрэгдсэн. Шигтгээгээр тохиолдох магнетитын мөхлөгийн хэмжээ нь 0.0348х0.0392 мм-ээс 0.698х0.86 мм. 1-р генерацийн магнетит нь пирротин, пентландит зэрэг эрдсүүдтэй хам ургалт үүсгэсэн (Зураг 3303/2). 2-р генерацийн магнетит нь судал байдлаар серпентинитжсэн оливины эргэн тойронд хүрээлсэн байдалтай байна (Зураг 5. 3303/2). Гематит нь цагаан саарал өнгөтэй, зүүлэг, зөв бус хэлбэртэй. Пентландит цайвар сүүн шар өнгөтэй, изометрлэг, жижиг тэгш өнцөгт хэлбэртэй. Жижиг зууван болон тэгш өнцөгт пирротинтэй хамт үүссэн байдаг. Пентландит нь маш сайн өнгөлөгдсөн, маш сайн ойлтгой бөгөөд изотроп шинж чанартай байдаг. Мөхлөгийн хэмжээ жижиг, 0.0064х0.007 мм-ээс 0.0204х0.0509 мм байна (Зураг 5. 3303/2). Пирротин нь ягаавтар бор өнгөтэй, маш хүчтэй улаанаас шаравтар бор анизотроп шинжтэй, зууван болон тэгш өнцөгт хэлбэртэй. Мөхлөгийн хэмжээ 0.0186х0.0256 мм-ээс 0.0343х0.0494 мм (Зураг 5. 3303/2-1-3303/2-2). Хүчтэй анизотроп шинжтэй.

**Дээж-3300/2**-д шигтгээ болон цул байдлаар магнетит, халькопирит, бага хэмжээний халькозин болон гематит агуулагдана. Магнетит агуулагдсан холбоотойгоор соронзонтой. Магнетит нь боровтор туяатай саарал өнгөтэй, изотроп, хөндлөн огтлолдоо гурвалжин, тэгш ба олон өнцөгт, изометрлэг, зурваслаг хэлбэртэй гематитаар хэсэгчлэн түрэгдсэн. Мөхлөгийн хэмжээ: 0.0243х0.0425 мм-ээс 0.5116х0.5203 мм. Гематит нь цагаан саарал өнгөтэй, зүүлэг, зурваслаг, зөв бус хэлбэртэй, Мөхлөгийн хэмжээ 0.0109х0.0172 мм-ээс 0.086х0.095 мм. Халькопирит нь тод шар өнгөтэй, хүдрийн бус эрдэс дотор жигд бус сунасан зурваслаг болон шигтгээ байдлаар тохиолдоно. Мөхлөгийн хэмжээ 0.0105х0.1648 мм-ээс 0.0952х0.6112 мм. Халькозин нь хөх саарал өнгөтэй, халькопиритийг бага зэрэг түрсэн нимгэн хүрээ үүсгэсэн байдалтай харагдана (Зураг 5. 3300/2).

**Дээж 3304/5**-д Тус дээжинд хүдрийн эрдсүүд нь агуулагч магмын чулуулагтаа шигтгээлэг

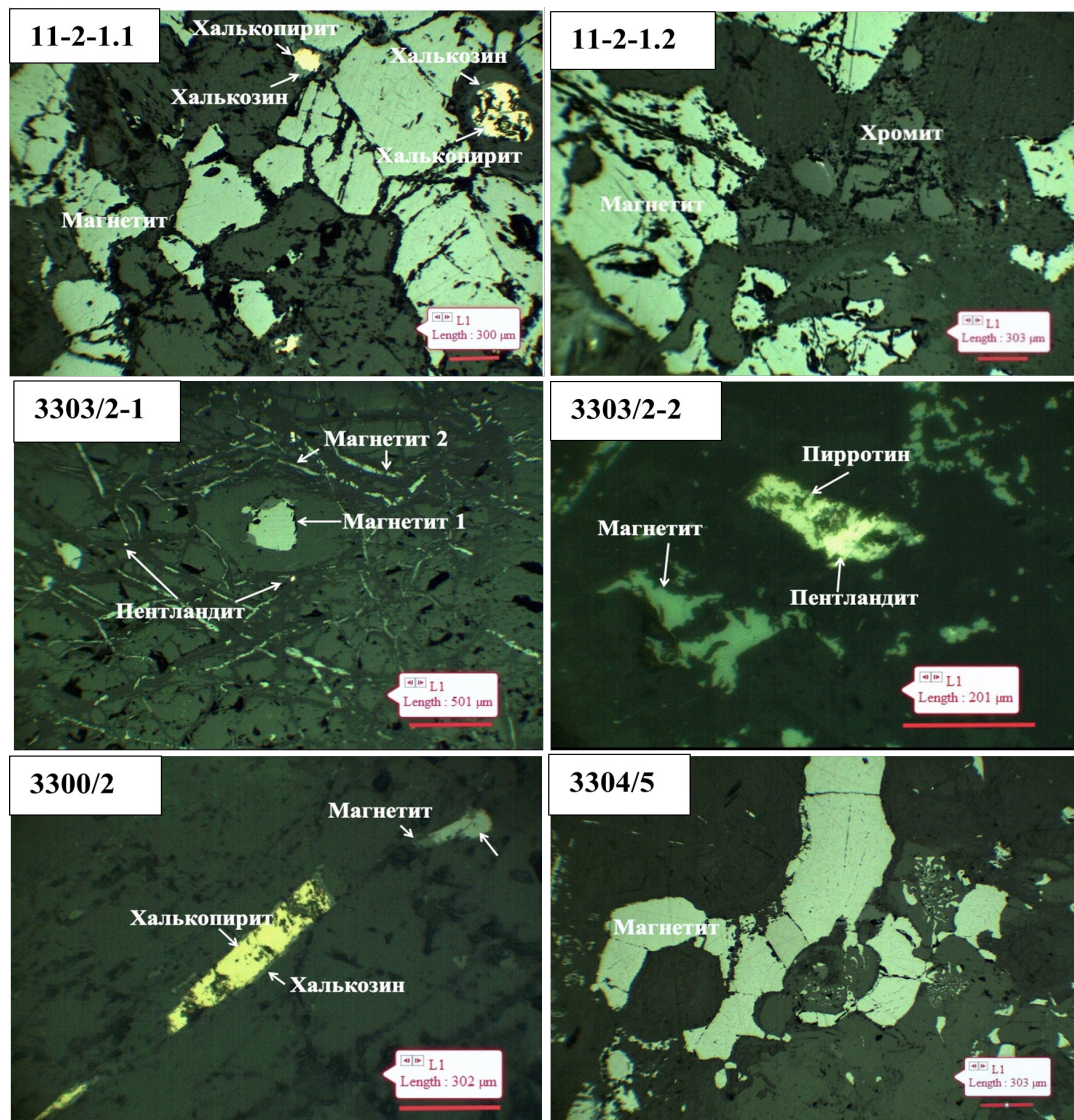
байдлаар болон чулуулаг бүрдүүлэгч эрдсийн мөхлөгийн захаар ихээр эмжээрлэж судал, тууз байдалтай байна. Бага хэмжээгээр пентландит, халькопирит, халькозин байна. Соронзон өндөртэй байгаа нь магнетит агуулагдсантай холбоотой. Магнетит 2 генерациар байна. 1-р генерацийн магнетит нь боровтор туяатай саарал өнгөтэй, изотроп, хөндлөн огтлолдоо гурвалжин, тэгш ба олон өнцөгт, изометрлэг хэлбэртэй, бага зэрэг гематитаар хэсэгчлэн түрэгдсэн. Мөхлөгийн хэмжээ: 0.011х0.012 мм-ээс 0.37х0.40 мм

(Зураг 5. 3304/5). 2-р генерацийн магнетит нь судал байдлаар серпентинитжсэн оливины эргэн тойронд хүрээлсэн байдалтай байна. Мөн их хэмжээний магнетит мөхлөгүүд тасралтгүй тууз хэлбэрээр үүссэн байдаг. Магнетит нь симплектит буюу жижиг өт маягийн ургалтыг үүсгэсэн (Зураг 5. 3304/5). Гематит нь цагаан саарал өнгөтэй, урт сунасан, зөв бус хэлбэртэй, мөхлөгийн хэмжээ 0.2х0.5 мм. Пентландит цайвар сүүн шар өнгөтэй, изометрлэг, тэгш өнцөгт, куб хэлбэртэй. Маш жижиг шигтгээ байдлаар байна. Мөхлөгийн хэмжээ нь 0.003-0.007 мм-ээс 0.018х0.034 мм (Зураг 5. 3304/5). Халькопирит нь тод шар өнгөтэй, долгиолог хил заагтай, захаасаа халькозинээр түрэгдэж, шигтгээлэг байдлаар байна. Халькозин нь хөх саарал өнгөтэй, нарийн халькопиритийг хаяалан түрж хөгжжээ.

#### 4.3. Электрон микронзондын (EPMA)

шинжилгээний үр дүн

Хүдрийн эрдсийн химийн найрлагын судалгаагаар 3 дээжүүдэд буюу 11-2-1 дугаартай дээжийн 9 цэгт, 3307/1 дугаартай дээжийн 20 цэгт, 3304/5 дугаартай дээжийн 18 цэгт CuO, NiO, tFeO, V<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SO<sub>3</sub>, PbO, Ag<sub>2</sub>O, Au<sub>2</sub>O, ZnO, CoO, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub> агуулгыг тодорхойлсоныг авч үзье (Зураг 6; хүснэгт 1). Тус 3 дээжинд хийсэн нийт 48 цэгийн хэмжилтээс үзэхэд 11-2-1 дугаартай дээжийн 9 цэгээс 7 цэгийн хэмжилтэнд tFeO-ийн агуулга 85.14%-88.22% агуулагдаж байгаа цэгүүдэд V<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-ийн агуулга 0.58%-0.77%, TiO<sub>2</sub>-ийн агуулга 0.76%-1.58% агуулагдаж, 3307/1 дугаартай дээжийн



Зураг 5. 11-2-1, 3300/2, 3303/2, 3304/5 дугаартай дээжүүдийн минераграфийн судалгааны зураг

20 цэгээс 9 цэгийн хэмжилтэнд tFeO-ийн агуулга 81.06%-86.91%, агуулагдаж байгаа цэгүүдэд V<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-ийн агуулга 0.67%-0.96%, TiO<sub>2</sub>-ийн агуулга 0.90%-2.98% агуулагдаж, 3304/5 дугаартай дээжийн 18 цэгээс 14 цэгийн хэмжилтэнд tFeO-ийн агуулга 81.38%-86.96%, агуулагдаж байгаа цэгүүдэд V<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-ийн агуулга 0.53%-0.82%, TiO<sub>2</sub>-ийн агуулга 1.26%-3.34% агуулагдаж, агуулагдаж байгаагаас маагмын гаралтай магнетитын найрлагыг илэрхийлж байна (John et al., 2010).

11-2-1 дугаартай дээжийн 9 цэгээс 2 цэгийн хэмжилтэнд tFeO-ийн агуулга 36.67%-38.20%, TiO<sub>2</sub>-ийн агуулга 54.08%-54.24%, 3307/1 дугаартай дээжийн 20 цэгээс 11 цэгийн хэмжилтэнд tFeO-ийн агуулга 38.11%-40.64%, TiO<sub>2</sub>-ийн агуулга 52.31%-55.75%, 3304/5 дугаартай дээжийн 18 цэгээс 4 цэгийн хэмжилтэнд tFeO-ийн агуулга 38.80%-41.32%, TiO<sub>2</sub>-ийн агуулга 53.27%-55.07% байгаа ильменитийн найрлагатай болохыг заана (John et al., 2010) Хүдрийн эрдсийн химийн найрлагын

Геологийн асуудлууд 25 №01 2026

судалгаагаар 3 дээжүүдэд магнетит, ильменитын Fe, Ti агуулсан ислийн эрдсүүд тодорхойлогдсон (Зураг 6. 11-2-1.1, 3307/1-1, 3304/5-1; хүснэгт 1).

Cu, Ni, Fe, V, S, Pb, Ag, Au, Zn, Co, Cr, Ti элементүүдийн агуулгыг 11-2-1 дугаартай дээжийн 12 цэг дээр тодорхойлсон үр дүнгээс үзэхэд Cu-ийн агуулга 30.35%-34.12%, Fe-

ийн агуулга 29.94%-30.77%, S-ийн агуулга 27.73%-35.63% агуулагдаж байгаа нь халькопиритын найрлагыг зааж байна (John et al., 2010). Хэмжилт хийсэн эдгээр 3 дээжид магнетит болон ильменит, харин 11-2-1 дээжид халькопирит эрдэс байгаа нь тодорхойлогдлоо (Зураг 6. 11-2-1.2; хүснэгт 2).

Хүснэгт 1. 3 дээжийн электрон микронзондын судалгааны (EPMA) үр дүн

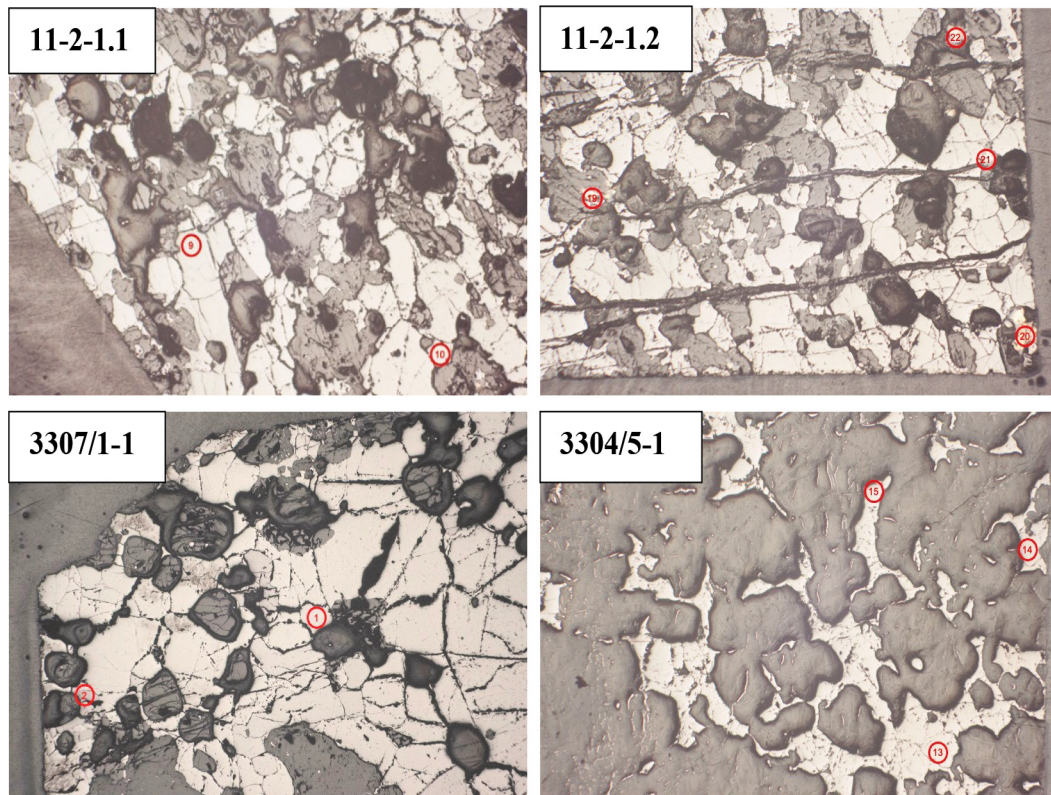
Дээж	Цэг	CuO	NiO	tFeO	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>3</sub>	PbO	Ag <sub>2</sub> O	Au <sub>2</sub> O	ZnO	CoO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Нийлбэр
11-2-1	11-2-2	0.00	0.02	88.22	0.70	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.11	0.06	1.24	90.39
	11-2-3	0.00	0.00	36.67	0.25	0.00	0.00	0.00	0.06	0.00	0.11	0.07	54.24	91.41
	11-2-4	0.00	0.05	86.14	0.76	0.00	0.00	0.01	0.04	0.00	0.14	0.00	0.74	87.88
	11-2-5	0.00	0.07	87.35	0.77	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.07	0.92	89.22
	11-2-6	0.00	0.00	86.28	0.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.11	0.02	1.08	88.18
	11-2-7	0.07	0.00	86.14	0.72	0.02	0.08	0.00	0.00	0.11	0.11	0.07	0.76	88.07
	11-2-8	0.00	0.02	85.14	0.58	0.00	0.05	0.00	0.05	0.00	0.06	0.07	1.58	87.55
	11-2-9	0.00	0.00	38.20	0.19	0.00	0.00	0.00	0.03	0.04	0.08	0.00	54.08	92.61
	11-2-10	0.00	0.15	86.15	0.66	0.00	0.00	0.02	0.02	0.04	0.11	0.01	0.88	88.04
	3307/1	3307/1-1	0.02	0.04	85.44	0.68	0.02	0.00	0.01	0.04	0.06	0.08	0.23	1.79
3307/1-2		0.02	0.00	38.11	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.10	0.07	55.53	94.11
3307/1-3		0.08	0.00	84.37	0.72	0.00	0.01	0.01	0.06	0.00	0.15	0.26	2.48	88.13
3307/1-4		0.00	0.00	39.56	0.17	0.00	0.04	0.00	0.05	0.00	0.02	0.04	54.11	93.99
3307/1-5		0.03	0.07	84.03	0.67	0.00	0.04	0.00	0.00	0.02	0.05	0.22	2.52	87.67
3307/1-6		0.00	0.00	39.70	0.22	0.00	0.00	0.00	0.04	0.06	0.04	0.10	54.06	94.21
3307/1-7		0.04	0.03	86.91	0.78	0.04	0.07	0.00	0.01	0.00	0.15	0.29	1.59	89.91
3307/1-8		0.02	0.06	38.80	0.25	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.06	0.05	53.10	92.34
3307/1-9		0.00	0.03	84.57	0.96	0.00	0.00	0.01	0.00	0.03	0.06	0.32	1.01	86.99
3307/1-10		0.03	0.04	81.06	0.89	0.00	0.00	0.00	0.04	0.02	0.12	0.26	2.98	85.44
3307/1-11		0.00	0.06	39.12	0.27	0.00	0.00	0.02	0.00	0.12	0.09	0.02	54.24	93.93
3307/1-12		0.00	0.01	39.68	0.19	0.02	0.00	0.01	0.00	0.01	0.11	0.00	54.27	94.30
3307/1-13		0.00	0.02	84.69	0.79	0.00	0.03	0.01	0.05	0.00	0.11	0.23	1.36	87.28
3307/1-14		0.02	0.05	39.27	0.24	0.00	0.00	0.00	0.04	0.01	0.06	0.01	55.81	95.51
3307/1-15		0.00	0.09	86.60	0.79	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.25	1.46	89.31
3307/1-16		0.00	0.00	40.64	0.20	0.02	0.00	0.01	0.01	0.00	0.11	0.07	52.39	93.45
3307/1-17		0.00	0.10	39.81	0.17	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.04	0.02	52.31	92.45
3307/1-18		0.06	0.07	86.35	0.92	0.01	0.04	0.00	0.00	0.00	0.07	0.18	0.90	88.58
3307/1-19		0.02	0.00	39.89	0.22	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.11	0.00	55.75	96.01
3307/1-20		0.04	0.05	38.93	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	0.05	55.16	94.51

Геологийн асуудлууд 25 №01 2026

3304/5	3304/5-1	0.02	0.00	82.65	0.71	0.00	0.00	0.00	0.05	0.07	0.13	0.12	2.38	86.13
	3304/5-2	0.00	0.00	40.23	0.23	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.09	0.05	53.56	94.17
	3304/5-3	0.00	0.01	85.68	0.77	0.00	0.00	0.01	0.03	0.00	0.12	0.10	2.05	88.76
	3304/5-4	0.00	0.00	86.11	0.78	0.00	0.01	0.00	0.00	0.05	0.12	0.10	1.29	88.46
	3304/5-5	0.04	0.00	38.80	0.10	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.06	0.00	55.07	94.07
	3304/5-6	0.00	0.00	82.44	0.74	0.00	0.01	0.00	0.05	0.00	0.17	0.10	2.75	86.26
	3304/5-7	0.00	0.05	86.96	0.82	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.14	0.14	1.48	89.63
	3304/5-8	0.00	0.00	40.12	0.32	0.02	0.00	0.00	0.01	0.02	0.09	0.02	54.96	95.55
	3304/5-9	0.01	0.05	86.39	0.64	0.00	0.00	0.01	0.00	0.10	0.06	0.06	1.69	89.01
	3304/5-10	0.08	0.04	82.15	0.73	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.19	0.11	2.92	86.23
	3304/5-11	0.01	0.00	81.89	0.53	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.10	0.10	3.34	85.98
	3304/5-12	0.00	0.06	84.05	0.78	0.03	0.00	0.00	0.00	0.07	0.10	0.08	1.58	86.74
	3304/5-13	0.00	0.08	82.74	0.80	0.00	0.00	0.01	0.01	0.13	0.04	0.07	1.65	85.53
	3304/5-14	0.04	0.02	41.32	0.14	0.04	0.00	0.00	0.06	0.08	0.08	0.01	53.27	95.07
	3304/5-15	0.02	0.01	84.04	0.68	0.01	0.07	0.02	0.00	0.00	0.11	0.15	2.04	87.15
	3304/5-16	0.00	0.04	86.94	0.75	0.03	0.06	0.00	0.00	0.09	0.12	0.02	1.26	89.31
	3304/5-17	0.00	0.02	81.38	0.72	0.00	0.01	0.01	0.04	0.13	0.08	0.11	2.62	85.11
	3304/5-18	0.00	0.00	85.45	0.72	0.00	0.03	0.02	0.00	0.06	0.11	0.14	1.34	87.88

Хүснэгт 2. 11-2-1 дээжийн электрон микрозондын судалгааны (EPMA) үр дүн

Дээж	Цэг	Cu	Ni	Fe	V	S	Pb	Ag	Au	Zn	Co	Cr	Ti	Нийлбэр
11-2-1	11-2-11	34.00	0.00	30.61	0.05	35.48	0.13	0.00	0.00	0.03	0.04	0.03	0.03	100.39
	11-2-12	34.12	0.00	30.27	0.04	35.61	0.13	0.02	0.00	0.00	0.05	0.00	0.03	100.28
	11-2-13	33.66	0.05	30.35	0.00	35.44	0.06	0.00	0.00	0.00	0.08	0.03	0.01	99.67
	11-2-14	33.46	0.01	30.77	0.05	35.61	0.12	0.01	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	100.06
	11-2-15	30.35	0.00	30.54	0.00	27.73	0.00	0.04	0.06	0.08	0.04	0.03	0.02	88.88
	11-2-16	32.87	0.00	30.16	0.04	35.17	0.10	0.02	0.08	0.21	0.02	0.03	0.00	98.69
	11-2-17	32.74	0.00	30.73	0.00	35.63	0.12	0.07	0.03	0.06	0.00	0.01	0.00	99.40
	11-2-18	33.33	0.00	29.94	0.06	35.59	0.15	0.00	0.03	0.04	0.04	0.00	0.00	99.17
	11-2-19	32.74	0.00	30.17	0.07	35.25	0.10	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	98.39
	11-2-20	33.27	0.04	30.00	0.01	34.89	0.11	0.00	0.01	0.05	0.01	0.00	0.08	98.47
	11-2-21	34.06	0.01	30.30	0.00	35.63	0.02	0.00	0.00	0.03	0.07	0.00	0.00	100.12
	11-2-22	33.15	0.02	30.65	0.00	35.60	0.10	0.00	0.01	0.00	0.08	0.00	0.00	99.60



Зураг 6. 11-2-1, 3307/1, 3304/5 дугаартай дээжүүдэд хийгдсэн электрон микрозондын судалгаа (EPMA)-ны зарим цэгүүдийн байршил

## 5. Хэлэлцүүлэг

Дээрх судалгаагаар илэрсэн суурилаг, хэт суурилаг чулуулагтай холбоотой хүдэржилтийн 2 үе шат ялгагдлаа. Магмын гаралтай хүдэр үүслийн үе шатанд 1-р генерацийн магнетит, илменит, халькопирит, пентландит, хромит, зэрэг эрдсүүд, гидротермаль үе шатанд 2-р генерацийн магнетит, гематит, халькозин зэрэг эрдсүүд үүссэн болох нь Агуйт илрэлийн эрдсүүдийн хам гарал үүслийн дарааллаас харагдана. (Хүснэгт 3). Магмын гаралтай сульфидын Ni—Cu-ийн хүдрийн бүх мэдэгдэж байгаа хуримтлал бөөгнөрөл мантийн-периодитийн

харьцангуй их хэмжээний хайлах явцаар бий болсон суурилаг эсвэл хэт суурилаг найрлагатай магмын их хэмжээгээр эх газрын царцдас руу түрж орсон, дайрч гарсан газарт үүсдэг байна (John, 2013; Kula, 1999; Walter, 2011).

Түүнчлэн тус илрэлд магнетитийн агуулга өндөр байгаа нь суурилаг найрлагатай чулуулаг болох габбротой холбоотой үүссэн төмрийн хүдэржилт үүссэн гэж үзэж байна (John, 2013; Kula, 1999; Walter, 2011). Мөн хүдрийн эрдсүүдээс 2-р генерацийн магнетит үүссэн байгаа нь чулуулгийн найрлаганд байгаа оливин хүдэржилтийн дараах үе шатанд гидротермаль хувиралд орж

серпентинижсэн буюу бага температурт үүсдэг серпентины полиморф дүрс хувирал болох лизардиттэй хамт үүссэн байна (Yann et al., 2017; Otgonbayar et al., 2021). Магнетит болон хам эрдсүүдийн бүтэц, найрлага нь габбро-пироксенит-оливинит зэрэг суурилаг, хэт суурьлаг интрузив чулуулагт үүсдэг хүдэржилттэй төстэй байна. Энэ нь (Zhou et al., 2005)-ийн Панжихуагийн үеллэг интрузивт чулуулаг дахь Fe-Ti-V хүдэржилттэй төстэй байна.

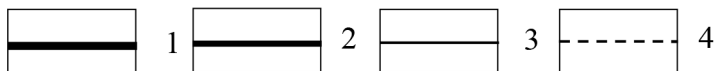
Ni-Cu-ийн сульфид ба Fe-Ti-ны исэл агуулсан хэт суурилаг, суурилаг интрузив биетүүд нь дэлхий хэмжээнд эх газрын захын орчинд илэрсээр байгаа ба тэдгээрийн гарал үүсэл тодорхойгүй хэвээр байна. Төв Азийн Ороген бүс дэх пермийн Кебугийн хэт суурилаг болон суурилаг интрузивууд нь Ni-Cu сульфид ба Fe-Ti ислийн хүдэржилтийг хоёуланг нь агуулдаг бөгөөд коллизийн дараах Андын маягийн нуман тогтоцод үүссэн байдаг (Сао et al., 2023). Түүнчлэн түрүү пермийн Таримын том магмын муж нь Хятад дахь магм-металлогенийн томоохон муж бөгөөд Fe-Ti-ны хүдэржилт бүхий хэт суурилаг болон суурилаг чулуулаг байдаг. Үүн дотроос оливин пироксенит, клинопироксенит, габброд агуулагдсан Важилитаг Fe-Ti-ны ислийн орд нь онцгой юм (Wang et

al., 2025). Эдгээр сүүлийн үед хийгдэж буй судалгаануудаас авч үзвэл хэт суурилаг болон суурилаг чулуулагтай холбоотой үүсэх Ni-Cu-ийн сульфидын ба Fe-Ti-ны ислийн хүдэржилт бүхий орд илрэлүүд байх боломжтой бөгөөд үүсэх тектоникийн тогтоцын хувьд өөр өөр байх боломжтой юм (Сао et al., 2023; Wang et al., 2025).

Судалгааны талбайн баруунд 30 гаруй км-т орших Хантайшир офиолит нь ихэвчлэн гарцбургит чулуулгаас бүрдэх ба зарим хэсэгт дунитын жижиг линзүүд тархсан бөгөөд пироксенитын бүсээр аажимаар орлогдоно гэж тэмдэглэгдсэн байна (Omar Gianola et al., 2019). Уламбадрах нар (2022) –ийн судалгаанд дурдсанчлан Нуурын бүс бол Төв Азийн Ороген бүс доторх офиолит, нумын бүрдлийн гол бүс юм. Нуурын бүсэд сонгодог Далайн плитийн стратиграфийн зүсэлт хадгалагдан үлдсэн нь Хантайшир, Эрдэнэ Уул офиолитуудаар илэрч байна (Уламбадрах нар., 2022). Иймд дээрх судалгааны ажил хийгдсэн талбайд магнетит, ильменит буюу Fe-Ti-ны ислийн хүдэржилт, пентландит, халькопиритийн буюу Ni-Cu-ийн хүдэржилт бүхий хэт суурилаг, суурилаг чулуулаг нь офиолит эвшлийн нэг тасрал, үлдэц гэж үзэж байна.

Хүснэгт 3. Агуйт илрэлийн эрдсүүдийн хам гарал үүслийн дараалал: 1-их тархалттай; 2-дунд зэргийн тархалттай; 3-бага тархалттай; 4-ховор тархалттай

Эрдсүүд	Магмын хүдэржилтийн үе	Гидротермаль үе шат
Оливин	—————	
Пироксен	—————	
Эвэрхуурмаг	—————	
Серпентин		—————
Плагиоклаз	—————	
Актинолит	—————	—————
Хлорит		- - - - -
Шпинель		- - - - -
Карбонат		- - - - -
Магнетит	—————	—————
Ильменит	—————	
Хромит	—————	
Халькопирит	—————	
Пентландит	—————	
Пирротин	—————	
Гематит		- - - - -
Халькозин		- - - - -
Ковеллин		- - - - -



### 6. Дүгнэлт

Судалгаа хийсэн талбайн чулуулгийн петрографи, минераграфи болон электрон микрозондын (ЕРМА) зэрэг судалгааны үр дүнгээс дараах дүгнэлтийг хийж байна.

Петрографийн судалгаагаар магмын гаралтай хэт суурилаг болон суурилаг найрлагатай чулуулгууд тархалттай байна.

Эдгээр магмын чулуулагт агуулагдсан хүдрийн эрдсүүдэд хийгдсэн минераграфийн болон электрон микрозондын (ЕРМА) судалгаагаар тухайн чулуулгуудтай холбоотойгоор магнетит-ильменит буюу Fe-Ti-ны ислийн хүдэржилт, пентландит-халькопиритийн буюу Ni-Cu-ийн хүдэржилтээс гадна бага хэмжээгээр Cr-ийн хүдэржилт байгааг дээрх судалгаануудын үр

дүнгүүд харуулж байна.

Энэ судалгааны ажил нь тухайн талбайд цаашид Fe-Ti, Fe-V, Cu-Ni болон Cr, PGE-ийн төрлийн нарийвчилсан судалгааны ажил хийх шаардлагатайг харуулж байна.

### Талархал

Судалгааны ажлыг гүйцэтгэхэд гүн тусалцаа үзүүлсэн “Цвд” ХХК-ийн хамт олондоо болон МУИС, ШУС-ийн Байгалийн Ухааны Салбарын Геологи, Геофизикийн тэнхим “Геологийн суурь судалгааны лаборатори”-ийн хамт олон, зөвлөн тусалсан профессор Л.Жаргал, профессор Х.Уламбадрах эрхэм багш нартаа талархлаа илэрхийлье.

**Ашигласан материал**

- Дэжидмаа, Г., Жаргалан, С., Ариунбилэг, С., Ганцэцэг, О., Болд-Эрдэнэ, Э., Хүрэлбаатар, Б., Цацрал, У., Гүрбадам, Э. (2021). “Монгол орны бүс нутгийн металлоген” төслийн тайлан.
- Жаргал, Н. 2022. Хүдрийн ордын геологи. Жи энд Ди Эс ХХК. “Ore deposit geology”, John Ridley, Colorado State University Press 2013 first edition. Редакторууд Батхишиг, Б., Жаргал, Л., Мөнхцэнгэл, Б., Оюунгэрэл, С. Пүрэвсүрэн, Д., Энхбаяр, Б., Мөнхбат, Н., Мөнх-эрдэнэ, Э., Сандагдорж, Ц., Долгормаа, Н., 2016. “Эмээлцэгийн нуруу” 1:50 000-ны масштабын Геологийн зураглал ерөнхий эрлийн ажлын тайлан.
- Раузер, А.А., Жанчив, Д., Голяков, В.И., 1986. 1:200 000 масштабтай бүлэгчилсэн зураглалын ажлын тайлан.
- Төмөртогоо, О., Монгол орны ороген мужуудын тектоник мужлалт 2012. Улаанбаатар, Хайгуулчин №46, 20-35
- Уламбадрах, Х., Тим Куски, Оролзодмаа О., Ван Лу 2022. “Баруун монгол дахь гондванаас гаралтай алтай-нуурын бүсийн түрүү палеозойн мега-тохрол: таоб-ийн хөгжил, палео-азийн далайн улиран хувьслын асуудалд”. Geological Issues 18 (1):76-118. <https://journal.num.edu.mn/geology/issue/view/78> .
- Сао, Y., Wang, C.Y., Wei, B., 2023. Origin of composite Ni-Cu sulfide- and Fe-Ti oxide-bearing mafic-ultramafic intrusions in the central Asian orogenic belt: Role of external-derived crustal organic carbon in controlling mineralization of post-collisional mafic magmatism: GSA Bulletin, <https://doi.org/10.1130/B36851.1>.
- John, W., Anthony, Richard, A. B., Kenneth, W. B., Monte, C. N., Handbook of Mineralogy, Mineralogical Society of America, Chantilly, VA 20151-1110, USA. <http://www.handbookofmineralogy.org/>.
- John, Ridley., 2013. Ore Deposit Geology, Cambridge University press.
- Kula, C. Misra., 1999. Understanding Mineral Deposits, Kluwer Academic Publishers.
- Mei, F.Z., Robinson, P.T., Michael, C.L., Reid, R.K., Cheng, J.Z., John, M., 2005. Geochemistry, petrogenesis and metallogenesis of the Panzhihua gabbroic layered intrusion and associated Fe-Ti-V oxide deposits, Sichuan province, SW China. Journal of Petrology, Volume 46, Issue 11, November 2005, Pages 2253-2280, <https://doi.org/10.1093/petrology/egi054>
- Omar, G., Max, W.S., Oliver, J., Jürg, R., Olivier, B., Oyungerel, S., 2019. The crust-mantle transition of the Khantashir arc ophiolite (western Mongolia). Journal of Petrology, Volume 60, Issue 4, April 2019, Pages 673-700, <https://doi.org/10.1093/petrology/egz009>
- Otgonbayar, D., Atsushi, O., Masaaki, U., Noriyoshi, Ts., 2021. Redistribution of magnetite during multi-stage serpentinization: Evidence from the Taishir Massif, Khantashir ophiolite, western Mongolia. Journal of Mineralogical and Petrological Sciences 116, 3,176-181.
- Walter, L. Pohl., 2011. Economic Geology Principles and Practice: Metals, Minerals, Coal and Hydrocarbons-Introduction to Formation and Sustainable Exploitation of Mineral deposits, A John Wiley & Sons, Ltd., Publication.
- Wang, W., Kong, Z., Chen, M., Yin, J., Maimaiti, M., Liu, D. 2025. Mineralogical and Geochemical Characteristics of the Fe-Ti Mineralized Mafic-Ultramafic Intrusions at Wajilitag, Tarim Basin, China: With Special Emphasis on the Role of Apatite. Minerals, 15(11), 1208. <https://doi.org/10.3390/min1511208>
- Yann, S., Allan, H. T., Susanne, P. S., 2017. Serpentinite with and without brucite: A reaction pathway analysis of a natural serpentinite in the Josephine ophiolite, California. Journal of Mineralogical and Petrological Sciences 112, 59-76.
- Zhou, M., Robinson, P.T., Leshner, C. M., Keays, R.R., Zhang, Ch., Malpas, J., 2005. Geochemistry, Petrogenesis And Metallogenesis of the Panzhihua Gabbroic Layered Intrusion and Associated Fe-Ti-V Oxide Deposits, Sichuan Province, SW China. Journal of Petrology, 46 (11) 2253-2280 [doi:10.1093/petrology/egi054](https://doi.org/10.1093/petrology/egi054)