

## ӨНДӨРНАРАН ОРДЫН АЛТНЫ ХҮДЭРЖИЛТ ҮҮССЭН ОРЧИН

*Б.Тамир<sup>1\*</sup>, Д.Доржготов<sup>1</sup>, Л.Жаргал<sup>1</sup>, Л.Оюунжаргал<sup>2</sup>,  
Ж.Эрдэнэбаяр<sup>3</sup>, Харайлд Фирт<sup>4</sup>*

<sup>1</sup>Монгол Улсын Их Сургууль, Шинжлэх Ухааны Сургууль, Геологи-Геофизикийн Тэнхим

<sup>2</sup>Цукуба Их сургууль, Япон

<sup>3</sup>Акита Их Сургууль, Япон

<sup>4</sup>Грац Их Сургууль, Австри

---

### ABSTRACT

Undurnaran Au mineralization area is situated in Saikhandulaan ore district, the NE of the South Gobi Cu-Au metallogenic belt within South Mongolian metallogenic province. Geographically, it is located in Saikhandulaan subprovince area of Dornogovi province 500km SE of Ulaanbaatar, 50m SW of the province center and 45 km SE of the subprovince center. The region where the property lies in is poorly developed in infrastructure.

As for regional structure, the deposit area occurs in the north part of South megablock and NE-SW oriented fault-bounded Mandakh terrane separated by Saikhandulaan fault to the north and Manlai-Mandakh depth fault to the south. Tectonics of the target area is characterized by Mandakh intrusive complex and Gunbayan formation volcanogenic units.

The area is structurally extended to the NE and consists of vertical dipping rock units. The fault structure is subdivided into two systems because of general strike and subsequence of the structure development: a. NE-directed fault; b. NW-directed fault. Geology of the ore deposit is characterized by Early Carboniferous Gunbayan formation sedimentary-volcanogenic rock units (C<sub>1</sub>gb), and Late Carboniferous Mandakh intrusive complex (C<sub>2</sub>m). Mineralogy of igneous rocks spread over the study area is characterized by intermediate volcanogenic units such as andesite, andesidacite, dacite-andesite tuff lava, tuff breccia, intrusive units such as diorite, subalkaline diorite, microdiorite, diorite porphyry units.

The ore minerals are quartz, ankerite, gold, pyrite and arsenopyrite forming spotty, stripped and impregnated textures of ore. The two types of ore developed with the minerals are Au-bearing pyrite-arsenopyrite and Au-pyrite-chalcopyrite and they are of silicate – calcareous composition.

Apparently, Au ore quartz of the deposit was considered to be developed through three different generations. Fluid inclusions in quartz are really tiny in size as well as are of two phases: gas (V) and liquid (L). The 1<sup>st</sup>, 2<sup>nd</sup> and final generation quartzes of the ore-bearing solution transform into homogenic phases at the temperatures of 321.5°C, 204°C and 185°C, respectively. The amount of fluid salt is 1.7-6.7 weight % NaCl eq.

---

Stable oxygen isotope is ( $\delta^{18}\text{O}$  23.6‰) for the first generation quartz whereas it is ( $\delta^{18}\text{O}$  15.7‰) for the second and the third generation quartzes. Hydrogen isotope analysis was conducted in Undurnaran deposit muscovite (sericite). Hydrogen isotope of the muscovite taken from the alteration zone is found to be ( $\delta\text{D}$ ) -134. As a result of the fluid inclusion composition, temperature, oxygen and sulfur isotope characteristics this deposit is identified to be gold vein type of mesothermal origin.

**Key words:** Undurnaran, fluid inclusion, stable oxygen isotope, gold mineralization, sulfur isotope

\*Corresponding author: e-mail: tamir1201@num.edu.mn, Mobile: 976-99052065

---

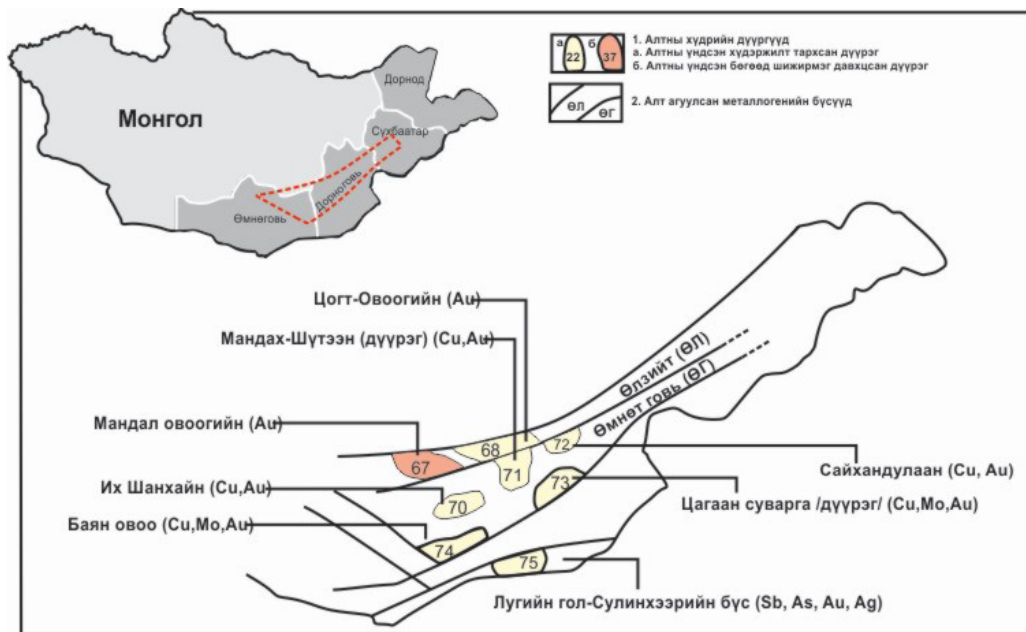
## 1. Оршил

Орд нь Өмнөд Монголын металлогений их муж түүн доторх Өмнөд Говийн металлогений бүсэд Сайхандулааны алтны хүдрийн дүүрэгт Өндөрнараран алтны хүдрийн талбайд уг орд байрлана (Зураг 1). Өндөрнараран хүдрийн талбайг шинээр (Тамир нар., 2019) ялгасан ба хүдрийн талбай зүүн хойноос баруун урагш чиглэсэн хагарлаар хянагдсан Оюут Улаан Овоогийн алт-зэсийн порфир, Өндөрнараран, Улаан, Цацын булаг, Гашуун хар, Жавхлант, Төгрөг зэрэг алтны судал болон эрдэсжсэн бүс үүсгэсэн гуч гаран км сунаж тогтсон орд, илрэлүүдээс тогтоно. Ордын геологийн тогтоц нь андезит, андезидацит ба нийцлэг байрласан диоритын дэл судлын биетүүд тэдгээрийн ан цав, бутралын бүсээр байрласан кварц-карбонатын судлуудаас бүрдэнэ. Ордын хувирлын бүс доторх хүдрийн биетүүд нь

зэрэгцээ байрласан шугаман хэлбэртэй штокверк маягийн судал, судланцар хэлбэртэй.

Хүдрийн биетүүд нь зүүн хойноос баруун дараа нь баруун хойш чиглэлээр нумарсан хагарлыг дагасан хувирлын бүс дотор оршдог. Хүдрийн биетүүд зүүн хойшоо 60-80 хэмийн уналтай, хүдэржилт цаашид уналын дагуу үргэлжлэнэ. Бүс доторх алтны эрдэсжилт жигд бус тархалттай. Хайгуулын ажлаар алтны 0.4 г/т-ийн захын агуулгаар үйлдвэрлэлийн дөрвөн (4) том, хэд хэдэн жижиг хүдрийн биетийг ялгасан ба тэдгээр биетийн хооронд (0.01-ээс 0.2 г/т) сул хүдэржсэн хэсгүүд бий.

Энэхүү өгүүлэлд Өндөрнараран ордод (2017-2018) хийгдсэн флюид ормын судалгаа, нэмэлтээр зохиогч бид бүхний 2018-2019 ондууд хийж гүйцэтгэсэн хүчилтөрөгч, устөрөгч, хүхрийн тогтвортой изотопын судалгааны үр дүнг танилцуулж байна.



**Зураг 1.** Өмнөд говийн металлогений бүс дэх алт агуулсан хүдрийн дүүргүүдийн байршлын зураг (Дэжидмаа, 2012), Өндөрнарар орд Сайхандулааны хүдрийн дүүрэгт байрлана.

## 2. Судалгааны арга, аргачлал

Өндөрнарар ордын хүдэр зөөгч уусмалын үүссэн (кварц) температурыг флюид ормоор, хүдэр үүссэн орчин, гарал үүслийг ( $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta^2\text{H}$ ) тогтвортой изотопын судалгааны аргаар кварц ба серицитэд, хүхрийн ( $\delta^{34}\text{S}$ ) изотопоор сульфидын эх үүсвэрийг судлав (Тамир, 2019).

### 2.1. Флюид ормын судалгааны аргачлал:

Хайгуулын цооноогоос авсан хүдэр агуулсан кварц-карбонатын судлын дээжинд 5-6 ормын шлиф

бэлтгэж 2017 онд Nikon eclipse LV100POL микроскоп, Linkam System халаах стейж, халааж гомогенжүүлэх мөн хөлдөөх багаж, дижитал камерны тусламжтай судалгааны ажлыг хийсэн (Тамир., 2018). Ормын хэмжилтийн үр дүнгийн боловсруулалтыг Hall et al (1988), Bodnar (1993), (Bodnar, 1995) нарийн боловсруулсан аргуудыг ашиглаж ормын төрөл, уусмалын найрлага зэргийг тогтоосон (Флюид ормын судалгааны ажлыг 2018 онд хэвлэгдсэн Б.Тамир нарын өгүүлэл, докторын нэг сэдэвт бүтээлд дэлгэрэнгүй тусгасан тул энд товч байдлаар авч үзлээ).

## 2.2. Хүчилтөрөгчийн ( $\delta^{18}\text{O}$ ) изотопын судалгааны аргачлал

Изотопын судалгааг ормын судалгаа хийсэн (кернээс үлдсэн) кварцаас моно фракц ялгаж Япон улсын Цукуба Их Сургууль, Канад улсын Ванкувер хотын ALC North Vancouver изотопын лабораторид кварцын ( $\delta^{18}\text{O}$ ) дээжүүдэд EA-CF-SIRMS (Elemental Analyser Continuous Flow Isotope Ratio Mass Spectrometry) багажаар, далайн усны стандарт дунджаар (VSMOW-Vienna Standard Mean Ocean Water) олон улсын стандартын дагуу ( $\delta^{18}\text{O}$ ) 0.5 ‰ -ээр илэрхийлэн үр дүнг гаргаж авсан. Дээжүүдийг агатан уур нүдүүрээр жижиглэн буталж, давсны 100%-ийн хүчлээр үйлчлэн карбонатыг ууршуулж нэрсэн усаар угааж 96%-ийн (цэвэр) кварцыг ялгаж, мөхлөгүүдийг бинокулярар шалгасны дараа өнгөгүй тунгалаг, друз агрегаттай бор өнгөтэй хоёр генерацийн кварцыг ялгаж тус тусад нь дээж баригчид хийн  $\text{BrF}_5$ -ийн атмосферт байлган  $\text{CO}_2$  лазераар буудаж, ялгарсан хийг синтетик алмазтай урвалд оруулан  $\text{CO}_2$  хийг савлан авч  $\delta^{18}\text{O}$ -ийг Finnigan MAT 253 mass-spectrometer-ээр хэмжсэн.

## 2.3. Устөрөгчийн изотопын судалгааны аргачлал

Судалгааг “Хатан Хааны Их Сургууль”-н (Queen’s University, Kingston, Ontario Canada) изотопын лабораторид хэмжсэн. Устөрөгчийн изотопын ( $\delta^{18}\text{H}$ ) хэмжилтийг ором болон хүчилтөрөгчийн изотопын судалгаанаас үлдсэн керний дээжээс ялгасан мусковитод (серицит) EA-

CF-SIRMS (Elemental Analyser Continuous Flow Isotope Ratio Mass Spectrometry) багажаар, далайн усны стандарт дундажыг (VSMOW-Vienna Standard Mean Ocean Water) олон улсын стандартын дагуу ( $\delta^{18}\text{H}$  3‰) илэрхийлж тооцсон. Мусковитоос устөрөгчийг ялгаж авахын тулд вакуум төхөөрөмжид усгүйжүүлэх процессын дагуу хийж 110 мг нунтаг дээжийг кварц-шилэн төхөөрөмжид байрлуулж, үүнийгээ вакуум аппараттай холбож нэг цагт  $100^\circ\text{C}$  хүртэл халааж, вакуумыг



агааргүйжүүлэх, усгүйжүүлэх процессыг 1-2 цагийн хугацаанд гүйцэтгэсний дараа дээжээ  $1000^\circ\text{C}$  температурт 2-4 цаг халаасан. Усыг шингэн  $\text{N}_2$ -ын тусламжтай хөргөж усгүйжүүлж дараа нь үлдэгдэл цэвэр  $\text{H}_2\text{O}$  -ыг  $800^\circ\text{C}$ -д металл хромоор харилцан үйлчлэл хийж  $\text{H}_2$ -ыг ангижруулан (1.1) хэмжсэн.

## 2.4. Хүхрийн изотопын судалгааны аргачлал

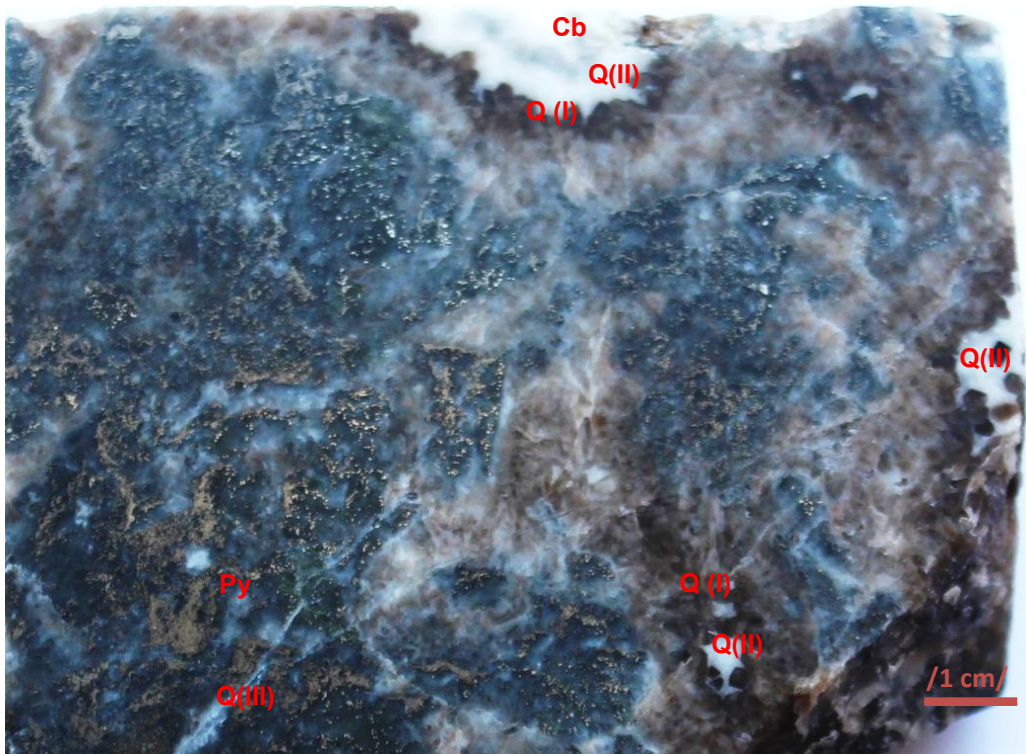
Өндөрноран ордын хайгуулын цооногоос сульфид их агуулсан эрдэсжсэн бүсээс 2 ширхэг керний дээжийг сонгон авч Ханлаб лабораторийн минералогийн бинокулярар (пирит) сульфидын моно фракц ялгаж Канадын улсын Ванкувер хотод “Эй Эл Си” лабораторид тодорхойлсон. Сульфид дэх хүхрийн “ $\delta^{34}\text{S}$ ” изотопыг EA-CF-SIRMS (Elemental Analyser Continuous Flow Isotope Ratio Mass Spectrometry) багажаар, олон улсын (VCDT-Vienna Canyon Diablo Troilite) стандартаар илэрхийлж, ( $\delta^{34}\text{S}$  0.2 ‰) тооцоолсон.

### 3. Үр дүн

#### 3.1 Флюид (хий-шингэн) ормын судалгааны үр дүн

Өндөрнарран ордын хүдэрагуулсан уусмалын эх үүсвэр, хүдэржилтийн орчин нөхцөл, гарал үүслийг тодруулахаар ордын алт агуулсан кварц-карбонатын судал дахь кварцын дээжинд гомогенжих температур, уусмалын давсны найрлага зэргийг флюид ормын микротермометрийн судалгаа дээр үндэслэн тогтоосон.

Өндөрнарран ордын алтны хүдэржилттэй холбоотой кварц нь хоёроос гурван генерациар үүссэн байна. I генерацийн кварц бор өнгөтэй друз маягийн агрегат үүсгэсэн. II генерацийн кварцууд нь цагаан өнгөтэй, баганалаг хэлбэртэй карбонаттай хамт, сүүлийн шатны кварц нь сааралдуу өнгөтэй шигтгээлэг хүдрийн эрдсүүдтэй хамт тохиолдоно (Зураг 2). Өндөрнарран ордын гурван генерацийн кварцуудын флюид ормууд нь хоёр фазтай шингэн давамгайлсан хий-шингэн төрөлтэй (Зураг 3).



**Зураг 2.** Хүдрийн бус гол эрдсүүд (Кварц карбонат) Q-Кварц (I), (II), (III) генераци, Cb-Карбонат, Py-пирит



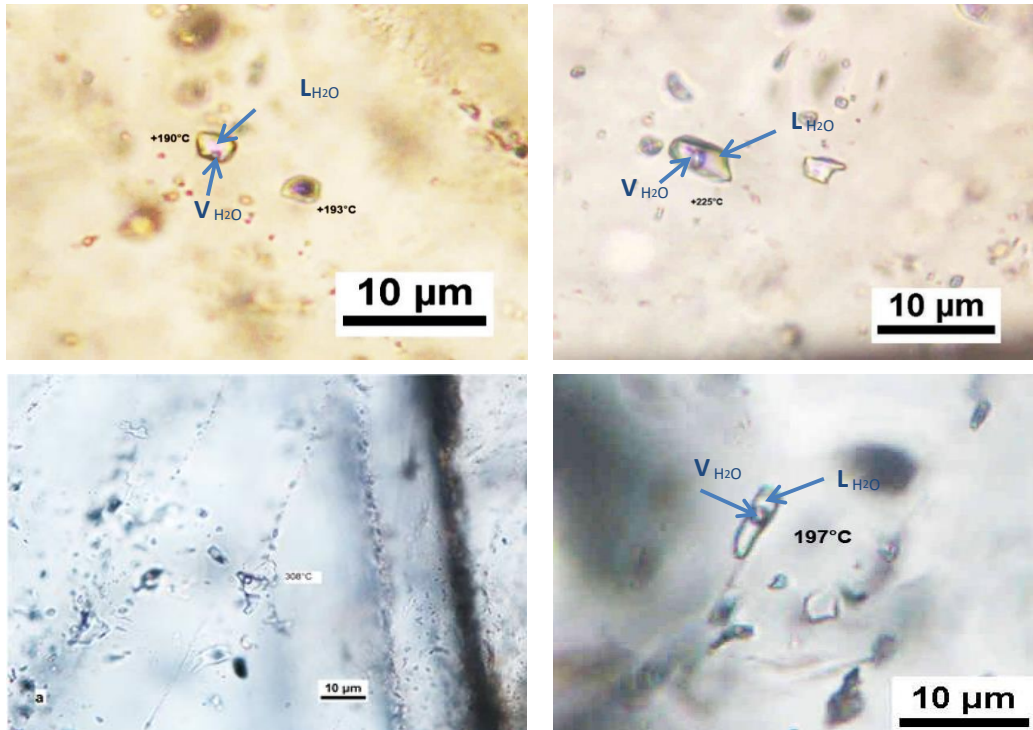
### 3.2 Ормын хэмжилтийн үр дүн

Өндөрнараран ордын судалгаанд хамрагдсан дээжүүдэд флюид ормын тархалт, бүтцийг судлахад ормууд нь маш жижиг хэмжээтэй (10цм-ээс бага), шингэн (L) – хийн (V) хоёр фазтай ормуудаас тогтоно (Зураг 3). Судалгааны ажлаар хүдэр зөөгч уусмалын эхний үе шат 308°C – 335°C (дундаж 321.5°C) температурт, дунд үе шатных 190°C – 231°C (дундаж 204°C) температурт гомоген фазид шилжиж, флюид уусмалын давсны концентраци 4.8 жин.% NaCl eq. Сүүлийн шатны

кварцынх 183°C – 187°C (дундаж 185°C) температурт гомоген фазид шилжин, флюид уусмалын давсны концентраци 6.5 жин.% NaCl eq байна. Кварцын судалд ан цав дагасан жижиг хэмжээтэй хоёрдогч ормууд элбэг. Хоёрдогч ормууд 110°C-190°C хооронд гомоген фазад шилждэг. Анхдагч ормуудын гомогенжих үеийн фото зургууд, хэмжилтийн үр дүнгүүдийг (гомогенжилт, давсжилт) гистограмм, Huston and Large (1989); Davidson and Large (1994) нарын температур (°C) болон давсны агуулгын (жин.% NaCl eq.) диаграммаар үзүүлэв.

Хүснэгт 1. Өндөрнараран алтны ордын флюид ормын үр дүнгийн нэгтгэл

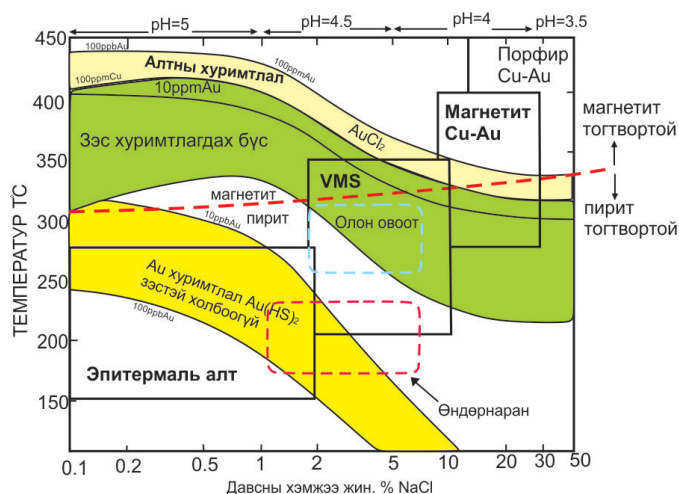
Д/д	Дээж №	Кварцын төрөл (генераци)	Гомогенжих температур Th°C	Мөсний сүүлийн хайлах Tm°C	Давсжилт (жин% NaCl eq)	Даралт (bar)
1	Op-1	(II)	193	-	-	
2	Op-1	(II)	195	-	-	
3	Op-1	(I)	335	-	-	
4	Op-1	(I)	308	-	-	
5	Op-1	(II)	197	-4.2	6.7	118.2
6	Op-1	(III)	183	-4	6.5	109.8
7	Op-2	(II)	192	-3	5	115.2
8	Op-2	(II)	223	-1	1.7	113.8
9	Op-2	(III)	187	-4	6.5	112.2
10	Op-2	(II)	225	-2	3.4	135
11	Op-2	(II)	198	-4	6.5	118.8
12	Op-2	(II)	230	-3	5	138
13	Op-2	(II)	190	-4	6.5	114
14	Op-2	(II)	231	-2	3.4	138.6
15	Op-2	(II)	193	-3	5	115.8



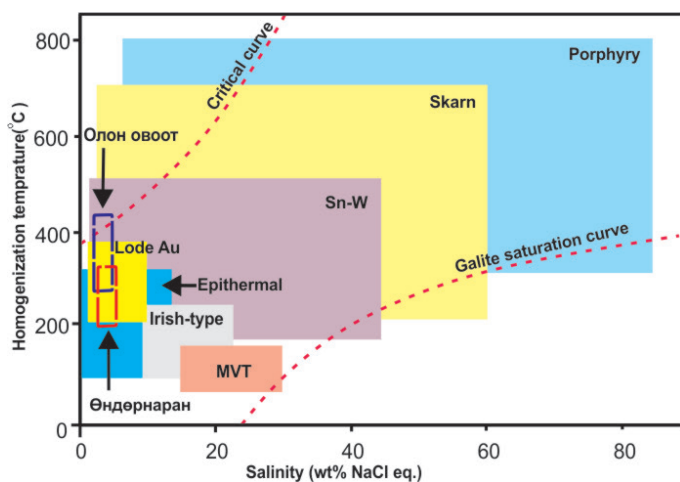
**Зураг 3.** Өндөрнарэн ордн кварцын судлын анхдагч ормуудын гомогенжилт ба төрлүүд хий (V) – шингэн (L) агуулсан бага давсжилттай хоёр фазтай ормоос тогтоно.

Ормуудад агуулагдах давсны агуулгын хэмжээгээрээ Өндөрнарэн орд 1.7-6.7 жин.% NaCl eq. Энэ нь Олон Овоотын (Оюунгэрэл нар., 2019) ордн кварцын судлуудын 2-7.8 жин.% NaCl eq үр дүнтэй ойролцоо найрлагатай. 4-р зурагт ордн хүдэр агуулсан уусмалууд алт хуримтлалын бүсэд байрлах ба пиритийн шугам дотор байрлана. Харин давсны агуулгын

хувьд ойролцоо ч температурын хувьд Өндөрнарэн ордоос арай бага зэргийн ялгаатай (Зураг 4) талбайд байрлана. Олон Овоотын ордн алт агуулсан кварцын судлын хий-шингэн ормын микротермометрийн хэмжилтээр (дунджаар) 280°C-300°C температурт (Оюунгэрэл., 2019), “Уудам тал” төслийн хүрээнд хийсэн флюид ормын дундаж температур 310°C гэж тодорхойлсон (JICA, 1992) байдаг.



Зураг 4. Температур болон давсны агуулгын диаграмм Huston & Large (1989); Davidson & Large (1994) нарын зохиосноор авав.



Зураг 5. Температур болон давсны агуулгын диаграмм Wilkinson (2001) нарын зохиосноор авав. Зураг дээр Өндөрнарар, Олон Овоотын алтны ордууд Lode (Au) талбайд байрлана.

### 3.3. Кварц дахь хүчилтөрөгчийн изотоп шинжилгээ

Өндөрнарар ордын алт агуулсан кварц-карбонатын судал дахь кварцын найрлагад агуулагдах хүчилтөрөгчид тогтвортой изотопын судалгаа хийсэн.

Хүчилтөрөгчийн изотопын судалгааны ажлаар 1. Ордын алт агуулсан (кварц-карбонат) кварцын судлууд үүсэхэд ямар гарал үүсэлтэй ус оролцсон бэ?, 2. Кварц ба усны фракцжилт улмаар орд болон хүдэржилттэй хэрхэн холбогдох талаар судлах зорилгын

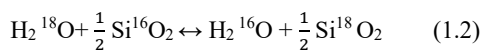


үүднээс уг судлуудад хийсэн флюид ормын үзүүлэлтэд тулгуурлан хариулт өгөхийг зорьсон болно. Хүчилтөрөгчийн изотопын судалгаанд флюид ормын хэмжилтүүдээр ялгасан гурван генерацаар үүссэн (I) кварц бор өнгөтэй (335-308°C), түүнээс арай бага температурт үүссэн цагаан, тунгалаг өнгөтэй (II) кварц (231-190°C), сааралдуу өнгөтэй (III) кварцад (187-183°C) изотопын найрлага, хүчилтөрөгчид усны фракцжилтыг тооцоолж алтны судлын ордуудтай харьцуулалт хийлээ.

Эрдэс (кварц) – усны хүчилтөрөгчийн фракцжилт

Ус– кварц хооронд хүчилтөрөгчийн изотопуудын хуваарилалтын тэнцвэрийг туршилтын журмаар Clayton et al., (1972), Matsuhisa et al., (1979) хийжээ. Судалгаанд Mathuhisa (1979) нарын тооцоолсон жишээгээр (1.3) тодорхойлсон.

Изотопын судалгааны ажлаар ордын судлын кварц – усны фракцжилтын төрхийг  $H_2O - SiO_2$  ын изотоп солилцох химийн урвалын томьёог Taylor (1997) тодорхойлсноор илэрхийлбэл:



байна. Энэ химийн урвалын кварц ба

усны хооронд изотопын солилцоо:

$$\Delta_{\text{кварц-ус}} = 1000 \ln \alpha_{\text{кварц-ус}} = 3.34 \frac{10^6}{T^2} - 3.31 \quad (1.3)$$

Ордын кварц тэдгээрийн гомогенжилт 183°C–335°C (Тамирнар., 2017) температур зонхилж байсныг үндэслэн усны хүчилтөрөгчийн изотопыг Rollinson (1993) тооцсон жишээгээр тодорхойлсон. Ордын алт агуулсан кварцын судлын температурын дундажыг 260°C гэж тооцон судалгаанд (олон улсад нийт ормуудын гомогенжсэн температурын дундажыг хэрэглэдэг жишгийг баримтлав) ашиглав.

Дээрх (1.3) томьёогоор усны дундаж утгыг тооцоолоход температурын (°C) цельсийн нэгжийг термодинамикийн температурын хамгийн бага нэгж болох кельвин (K) рүү шилжүүлж  $[K] = [°C] + 273.15$  тооцсон.

$260 (°C) = 260 + 273.15 = 533.15 (K)$  ба дээрх (1.3) томьёонд орлуулахын өмнө  $(T)^2$  түүний квадрат утга  $(533.15)^2 = 284689 (T)^2$  -ыг тооцоолж гаргасан.

Эндээс хүдэр зөөгч уусмалын бодит утгыг кварц дэх ормын 200-500°C температурын үзүүлэлттэй үед (Matsuhisa et al., 1979) дараах томьёоны (1.3) тусламжтай изотопын фракцжилтыг тооцоолж олсон.

$$\Delta_{\text{кварц-ус}} = 1000 \ln \alpha_{\text{кварц-ус}} = 3.34 \frac{1\,000\,000}{284689} - 3.31 = 8.42 \text{ ‰}$$

Эндээс:

$$1000 \ln \alpha = 8.42 \text{ ба } \Delta_{\text{кварц-ус}} = \delta^{18}O_{\text{кварц}} - \delta^{16}O_{\text{ус}} = 1000 \ln \alpha_{\text{кварц-ус}}$$

$$H_2O = 25.02 - 8.42 = 16.6 \text{ ‰ } (\delta^{18}O) \text{ тооцож гаргасан.}$$

### 3.4 Хүчилтөрөгчийн изотопын шинжилгээний үр дүн

Судалгаанд  $\delta^{18}\text{O}$  харьцааг ашигласан. Судалгааны ажлаар хүдэржсэн уусмал талсжаад (кварц) судал болсон үеийн шинж төрхийг тогтвортой изотопын аргаар судалсан. Өөрөөр хэлбэл ус болон агуулагч чулуулаг хоорондын фракцжилтанд орсон үеийн изотопын найрлагын тогтоож хүдэр агуулсан уусмалын найрлагыг үнэн зөвөөр тодорхойлоход фракцлалтын хэмжээ нь тухайн уусмалын талсжилтанд орох үеийн температуртай урвуу хамааралтай байдаг гэсэн зарчмыг баримтлан ажилласан. Тус аргаар Өндөрнарэн ордын хүдрийн уусмалын хүчилтөрөгчийн изотопын бодит утгыг тооцоолоход ерөнхийдөө 14.63‰ - 25.38‰ хооронд хэлбэлзэлтэй (2-р хүснэгт). Эндээс ордын алт агуулсан

кварцууд хүчилтөрөгчийн изотопын найрлага өөр хоорондоо I генерацийн кварцынх дунджаар 23.6%, II генерацийн 16.7 %, III кварцынх 14.9‰ дундаж үзүүлэлттэй. Өөрөөр хэлбэл судал үүсгэхэд оролцсон усны хүчилтөрөгчийн изотоп I генерацийн кварцынх II болон III генерацийн кварцаас 6.9-8.7 % (2-р хүснэгт) ялгаатай. Эдгээр нь анхдагч ормууд жижиг, цөөн, өндөр биш температур (ихэнх ормууд 190°C-231°C) гомоген фазад шилждэг, агуулагч чулуулаг нь судлын кварц үүсэхэд химийн талаас, мөн хүдэрт уусмал болон тектоник структурын хувьд хүчтэй нөлөөлөөгүй байж болох талуудтай. Эндээс ордын хэмжээнд кварцын судлууд өөр хоорондоо хүчилтөрөгчийн изотопоор ялгаатай, элементийн изотопын утгууд үүссэн цаг хугацаа, эртний ба өнөөгийн газарзүйн байрлалтай холбоотой ялгаа үүсгэдгийг (McCuig, 1998) анхаарах шаардлагатай.

Хүснэгт 2. Өндөрнарэн ордын хүчилтөрөгчийн изотопын найрлага

Дээжийн дугаар	Кварцын төрөл (генерац)	Шинжлэгдсэн материал	$\delta^{18}\text{O}_{\text{кварц}} \text{‰}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{ус}} \text{‰}$ 260°C
О-1	Бор кварц (I)	Цэвэр кварц	30.5	22.12
	О-2 Бор кварц (I)	Цэвэр кварц	33.8	25.38
О-3	Бор кварц (I)	Цэвэр кварц	32.15	23.73
О-4	Бор кварц (I)	Цэвэр кварц	31.8	23.46
О-5	Тунгалаг кварц (II)	Цэвэр кварц	25.02	16.6
О-6	Тунгалаг кварц (III)	Цэвэр кварц	23.66	15.24
О-7	Тунгалаг кварц (III)	Цэвэр кварц	23.05	14.63
О-8	Тунгалаг кварц (II)	Цэвэр кварц	25.2	16.78

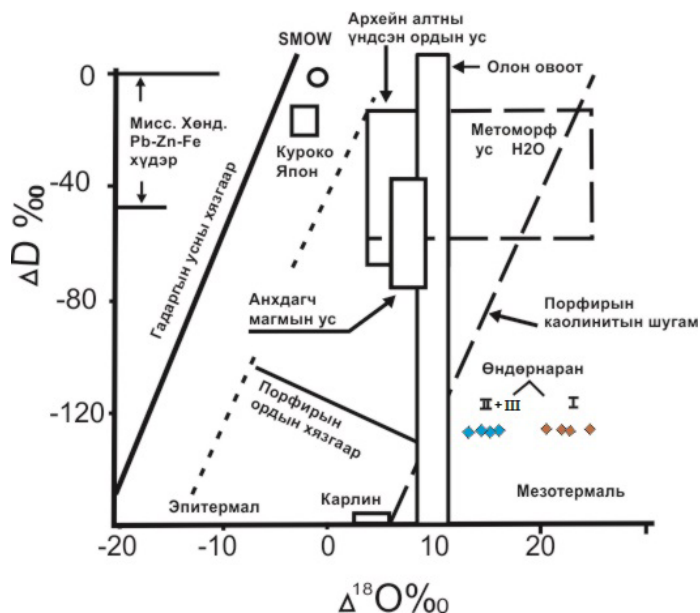
### **3.5. Устөрөгчийн изотопын шинжилгээний үр дүн**

Судалгаа нь усны эх үүсвэр ба эрдэс үүслийн үе шатууд дахь түүний найрлагын өөрчлөлтийг судлахад чиглэсэн. Өндөрнарэн ордын флюид ором, хүчилтөрөгчийн изотопын судалгаа хийгдсэн (2-р зураг) мусковитод (серицит) устөрөгчийн изотопын судалгаа хийсэн. Өндөрнарэн ордын хувирлын хэсгээс авсан мусковитын ( $\delta D$ ) дейтериум (-134) үзүүлэлтэй. Энэ гүний чулуулгийн (магмын) усны эх үүсвэртэй орчинтой тохирч байна.

### **3.6. Устөрөгч ба хүчилтөрөгчид орчны изотоп ба харьцуулалт**

Өндөрнарэн ордын алтны хүдэржилттэй I генерацийн кварцын хүчилтөрөгчийн изотопын утга  $\delta^{18}O$  23.6‰, II генерацийн кварц 16.7‰, III кварц кварцынх 14.9‰. II болон III тунгалаг өнгийн кварцын  $\delta^{18}O$  15.7‰ дундаж үзүүлэлтэй. Энэ нь Олон Овоотын алтны бүлэг (Оюунгэрэл нар., 2019) ордын  $\delta^{18}O$  8.2–11‰ хүчилтөрөгчийн изотопын үр дүнгээс бага зэргийн ялгаатай (6-р зураг). Хэдийгээр орд бүрт ялгаатай изотопын утгууд байдаг (Guilbert et al., 1986;

Barnes, 1979) боловч эпитеpmаль ордын хэмжээнд ихэнхдээ  $\delta^{18}O < 8\%$  байхад, зэс-молибдены порфирын төрөлд ихэнхдээ  $\delta^{18}O \approx 5\%$  орчинд, түүний хувирлын хэсэгт тогтворгүй болж 14% хүрдэг. Өмнөд Монголын алт агуулсан зэс-молибден порфирын Цагаан суваргын ордын хүдрийн уусмал дахь хүчилтөрөгчийн изотопын утга 3.25–5.9‰ хооронд хэлбэлздэг (Тунгалаг., 2014). Карлин төрлийн (гадаргын усны хөгжилд хүчтэй өртдөг) ордод 3–6‰, цул сульфидын өндөр хэмийн уусмалд 5–9‰ байдгийг Barnes, (1997) бусад судлаачдын материалуудад тулгуурлан тогтоожээ. Манай оронд цул сульфидын хамгийн сайн судлагдсан Баян-Айрагийн ордын алт агуулсан кварцын судлуудад ( $\delta^{18}O$ ) 9.1–12.2‰ орчим (Алтанхуяг, 2005) найрлагатай. Эдгээрээс судлын төрлийн алтны ордуудад хийсэн хүчилтөрөгчийн изотопын судалгааг McCuaig and Kerrich (1998) системчлэх байдлаар оруулсныг судлагдаж байгаа болон бусад алтны ордын үр дүнг дараах диаграммд буулгав. Эндээс харахад Өндөрнарэн орд нь мезотермаль температурт үүссэн ороген гарал үүсэлтэй, харьцангуй өндөр (хүнд) изотопын ( $\delta^{18}O$ ) уусмалын найрлагатай орд болно (6-р зураг).



**Зураг 6.** Устөрөгч ба хүчилтөрөгчийн изотопын харьцаагаар уусмалын усны гарал үүсэл тодорхойлох диаграмм (McCuaig, 1998; Taylor et al., 1997) нарын материалд тулгуурлав. Изотопын үр дүнг Олон Овоотын ордтой харьцуулав. Өндөрнاران ордын уусмалууд мезотермаль гарал үүсэлтэй байна.

### 3.7 Сульфидын эрдэс дэх хүхрийн изотоп

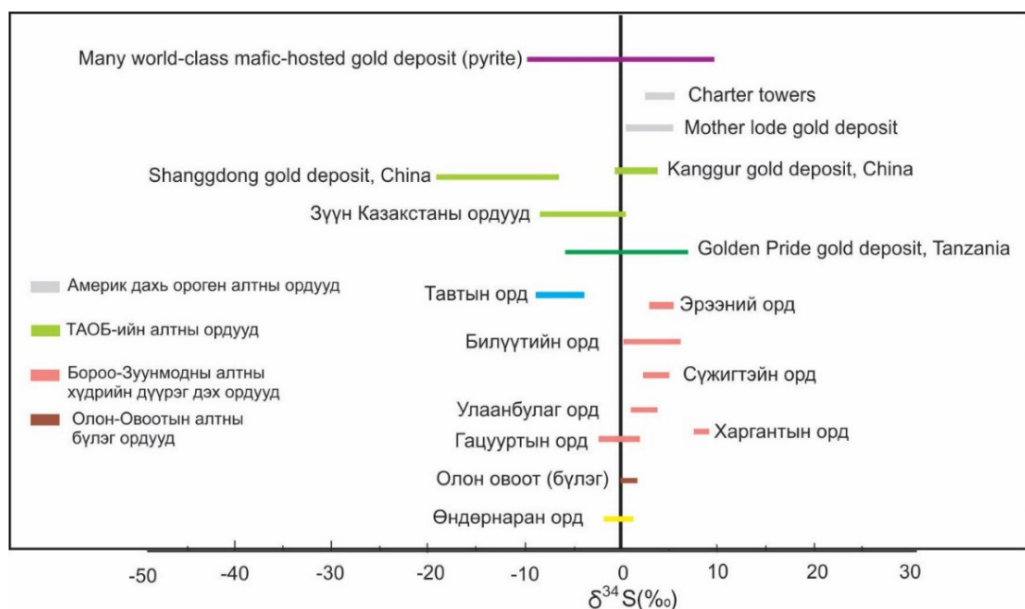
Өндөрнاران ордын сульфидын (пирит) бүрэлдэхүүн дэх хүхрийн тогтвортой изотопын харьцааг стандарттай харьцуулан хэмжих ба үр дүнг 1000-д (‰) үржүүлсэн хувиар илэрхийлж  $\delta$  (дельта) гэж тэмдэглэв.

1. 
$$\delta^{34}\text{S}\text{‰} = \left\{ \frac{{}^{34}\text{S}}{\text{S}_{\text{стандарт}}} / \frac{{}^{34}\text{S}}{\text{S}_{\text{стандарт}}} - 1 \right\} \times 1000$$
2. Олон Улсын Атомын Энергийн Агентлаг (IAEA)-аас сульфидын эрдсийн стандарт болгон ашигладаг аргинтит ( $\text{Ag}_2\text{S}$ )-ыг стандарт болгон ашигласан.

Өндөрнاران ордын сульфид (пирит) хүдрийн судалд үүсэхээс гадна агуулагч чулуулагтаа шигтгээлэг байдлаар тархалт үүсгэх ба хүхрийн ( $^{34}\text{S}$ ) изотоп (-1 ‰) -ээс (0.6 ‰). Хүхрийн изотопын ( $^{34}\text{S}$ ) утга (-10) аас (15) хооронд хэлбэлзэлтэй үед гранитоид (Оролмаа., 2012), агуулагч чулуулагтаа алтны (шигтгээлэг) хүдэржилт үүсгэж буй сульфидын ордууд ихэвчлэн магмын гаралтай сульфидаас (Ripley and Li, 2003) үүсдэг гэж үздэг тул Өндөрнاران ордын сульфидын эх үүсвэр бол магмын гаралтай тэр дундаа (дундлаг) гранитоидоос үүссэн байна. Өндөрнاران ордод хийсэн хүхрийн

изотопын утгыг ТАОБ-Төв Азийн Ороген Бүсийн (Хятад, зүүн Казакстан), Зүүн Африкийн Танзани, Америкийн ороген алтны ордууд, Монгол орны Бороо-Зуун модны хүдрийн дүүргийн зарим ордууд болон Тавтын алтны үндсэн орд (Oyungerel et al., 2012; Oyungerel et al., 2018), Өмнөд бүсийн Өлзийтийн алтны металлогений бүсэд байрлах Олон Овоотын алтны бүлэг

(Оюунгэрэл нар., 2019) ордуудад хийсэн үр дүнтэй харьцуулж үзэв. Харьцуулалтаар Өндөрнарэн ордын сульфидын эх үүсвэр Гацуурт ба Олон Овоотын (Олон Овоот, Хоримт худаг, Гоёот-Улаан, Улаан хяр) алтны ордуудтай ойролцоо утгатай, магмын гаралтай гидротермаль уусмалын бүтээгдэхүүнээс үүссэн (7-р зураг) болох нь харагдаж байна.



Зураг 7. Өндөрнарэн ордын хүхрийн ( $\delta^{34}S$ ) изотоп ба бусад алтны ордуудын сульфидын эрдсүүдэд хийгдсэн хүхрийн изотопын үр дүн ба харьцуулалт

#### 4. Хэлэлцүүлэг

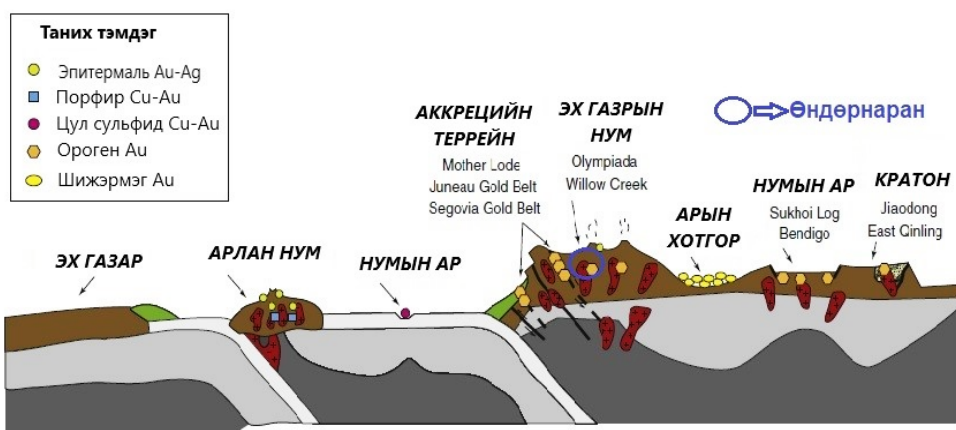
Алтны судлын бие даасан ордуудын дийлэнх хэсэг мезотермаль (Lindgren, 1933) гарал үүсэлтэй буюу ороген алтны ордод (Groves et al., 1998; Robert et al., 2007; Goldfarb et al., 2015) хамрагдана. Ороген алтны ордуудыг Groves et al., (1998) нар анхандаа аккрецийн бүрдэл дотор үүсэж байгаагаар тайлбарлаж байсан

бол сүүлийн үед аккрецийн террейнээс гадна эх газрын нум, нумын арын (Goldfarb and Groves., 2015) структурт үүсдэг болох (8-р зураг) нь тогтоогджээ. Ороген алтны ордуудын үүсэх гүний түвшин 3-20 км-т дотроо бага (эпизональ), дунд (мезозональ), гүний (гипозональ) гэж гурав (Groves et al., 1998; Goldfarb and Groves., 2015) ангилагдана (Зураг 9). Өндөрнарэн



ордын геохимийн корреляцийн хамаарал Au-Sb (0.48), Au-As (0.68) нь мезозональ түвшинд хамруулах боломжтой. Ороген алтны ордуудын кварцын гомогенжих  $220^{\circ}\text{C}$ - $380^{\circ}\text{C}$  температур, 10 жин% (NaCl eq) давсжилтын (5-р зураг) үзүүлсэн (Lode Au) диаграммаар (Wilkinson,

2001) тогтоосон байдаг. Эндээс үзэхэд Өндөрнарэн ордын кварцын ормууд  $190^{\circ}\text{C}$ - $335^{\circ}\text{C}$  (дундаж  $260^{\circ}\text{C}$ ) температурт, давсжилт 4.8-6.5 жин.% (NaCl eq), геохимийн корреляцийн хамаарал (Au-Sb-As) зэргээр ордыг дунд гүний орчимд (Зураг 9, а) үүссэн ороген алтны ордод хамааруулж болно.



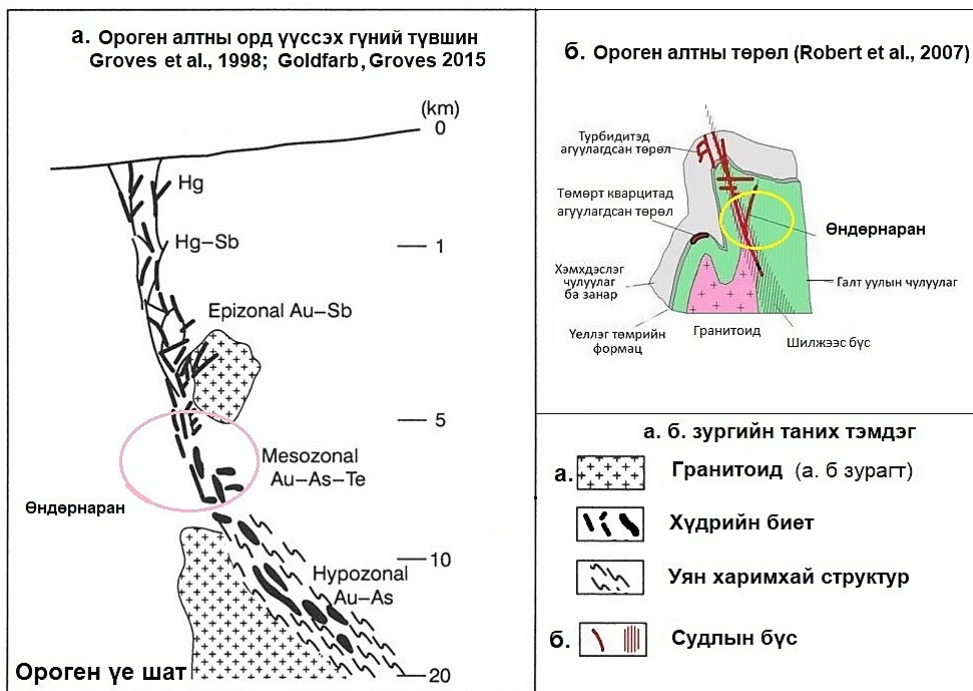
**Зураг 8.** Ороген ба бусад алтны ордууд плит тектоникийн загварт хаана үүсэж болохыг үзүүлсэн бүдүүвч (Goldfarb and Groves., 2015). Ороген ордуудыг аккрецийн террейн, эх газрын нум, нумын арын структурт үүсдэг болохыг Зүүн Өмнөд Ази, Хойд Хятадын блокын жишээ дээр Р.Голдфарб нар (2015) тайлбарлажээ. Өндөрнарэн орд геодинамикийн хувьд хаана үүсэж болохыг төсөөлж харьцуулахад Өмнөд Монголын төв Мандахын террейнд (Төмөртоогоо, 2012) тархалттай (карбон?) нумын андезит, гранитоидтой холбоотой.

Энэхүү өгүүлэлд судалж буй ордыг гарал үүслийн (генетик) ангиллаар мезотермаль температурт үүссэн ороген алтны судлын орд, үйлдвэрлэлийн ангиллаар диоритын биеттэй холбоотой алт-кварц-карбонат-сульфидын төрлийн ордод хамруулах боломжтой гэж үзлээ. Монгол оронд харьцангуй сайн судлагдсан, уурхайлан (зарим талаар

дууссан) ашиглаж байгаа (Бороогийн алтны орд) Бороо№6 (Дэжидмаа, 1985; 2012; Ухнаа нар., 2017), Олон Овоотын алтны ордуудтай геологи-минералогийн ба хүдэр үүссэн орчноор харьцуулж дараах хүснэгтээр (3-р хүснэгт) үзүүлээ. Өндөрнарэн орд нь геологи-минералогийн шинжээрээ Бороо№6 ордтой төсөөтэй, флюид ором, хүчилтөрөгчийн

изотопын найрлагаараа Олон Овоотын ордоос бага зэргийн ялгаатай боловч сульфидын эх үүсвэр нь магмын

гаралтай гэсэн Оюунгэрэл нар (2019) дүгнэлттэй тохирно.



**Зураг 9.** Ороген алтны ордын хүдэржилтийн загвар. а. Ороген алтны ордын загвар, үүсэх гүний түвшин (Groves et al., 1998; Goldfarb and Groves., 2015). б. Ороген алтны ордын төрөл, гарал үүслийн ерөнхий загвар-модель (Robert et al., 2007). Өндөрнарэн орд энэхүү модель-загварт байрших гүний түвшин, хүдрийн биетийн хэлбэр, морфологи, агуулагч чулуулгийн төрлөөрөө дунд түвшинд хамрагдах боломжтой.

Хүснэгт 3. Өндөрнاران ба бусад ордуудтай геологи-минералог, алтны хүдэржилтийн эх үүсвэрээр (орчин) харьцуулсан хүснэгт

№	Орлын нэр	Хүдэржилтгүй холбоотой интрузив	Структур	Агуулагч чулуулаг	Хүдэржилтийн үеийн хувирал	Хүдрийн биетийн морфологи	Хүдэр бүрдүүлэгч гол эрдэс	Хүдэр үүссэн (Т)	Хүдрийн эх үүсвэр	Хүдэр үүслийн үе шат
1	Өндөр наран	Диорит, диорит порфир	Нуман маягийн салбар хагарал	Андезит, андезит-дацит, андезит порфир	Березитжилт, кварц-карбонатын метасоматит	Эрдэжсэн бүс (судал)	Алт, пирит, арсенопирит	335-308°C, 231-183°C	Магмын (гидротермаль)	Гидротермаль үед 4 үе шатаар
2	Бороо М6 (Дэжидмаа нарынхаар)	Диорит, микродиорит	Нумарсан нуман маягийн хагарал	Элэжин, алевролит, мета-элэжин	Метасоматоз (березитжилт)	Эрдэжсэн бүс (судал)	Алт, пирит, арсенопирит	?	Гидротермаль (Дэжидмаа, 1985)	Гидротермаль (1) үе, (8) үе шат (Дэжидмаа, 1985; 2012)
3	Олон Овоот (Оюунгэрэл нарынхаар)	Диорит, габбродиорит	Хагарлын бүс	Занар, алевролит, элэжин	Серицитжилт, аргиллитжилт, пиритжилт, цахиржилт	Эрдэжсэн бүс дэх судал, судланцар,	Алт, пирит, арсенопирит	280-300°C	Магмын (Оюунгэрэл нар., 2019)	(2) шат (?) (3) төрөл (?) (Оюунгэрэл нар., 2018)

## 5. Дүгнэлт

Өндөрнаран алтны орд нь геологийн тогтцын хувьд хожуу карбоны диориттой орон зай, цаг хугацааны хувьд нягт холбоотой, андезитын доторх хагарал бутралын бүсэд агуулагдсан, алт агуулсан кварц-карбонатын судлын (эрдэсжсэн бүс) төрлийн орд юм.

Өндөрнаран ордын алтны хүдэржилт үүссэн орчинг судласан судалгааны үр дүнг доорх хэлбэрээр тайлбарлана:

1. Өндөрнаран ордын хүдрийн ба хүдрийн бус голлох эрдсүүд нь кварц, анкерит, алт, пирит, арсенопиритээс бүрдсэн. Алтны хүдэржилттэй кварцууд гурван генерациар үүссэн. Кварц дахь флюид ормууд маш жижиг хэмжээтэй, хий (V) – шингэн (L) агуулсан хоёр фазтай. Хүдэр зөөгч уусмалын I генерацийн кварц 321.5°C, II генерацийн кварц 204°C III генерацийн кварцууд 185°C дундаж температурт гомоген фазид шилждэг. Ормуудын давсны хэмжээ 1.7-6.7 жин.% NaCl eq.
2. Хүчилтөрөгчийн тогтвортой изотоп утга I генерацийн кварцынх  $\delta^{18}\text{O}$  23.6‰, II ба III генерацийн кварцынх өөр хоорондоо ойролцоо дундаж  $\delta^{18}\text{O}$  15.7‰ утгатай. Орд нь флюид ормын уусмалын найрлага, үүссэн температур, хүчилтөрөгч ба хүхрийн изотопын шинжээрээ магмын гидротермаль уусмалаас бий болсон мезотермаль температурт үүссэн ороген гарал үүсэлтэй алтны судлын төрлийн орд юм.

3. Өндөрнаран орд геологи-минералогийн шинжээрээ харьцуулахад Бороо№6 ордтой төсөөтэй ба флюид ором болон хүчилтөрөгчийн изотопын найрлагаараа Олон Овоотын ордоос бага зэргийн ялгаатай юм. Олон Овоотын орд  $\delta^{18}\text{O}$  8.2–11‰, судалж буй ордынх 15.7-23.6‰. Харин хүхрийн изотопын хувьд Олон Овоот болон Гацууртын алтны ордуудтай ойролцоо гэж үзэж болно.

## Ашигласан хэвлэл

- Алтанхуяг Д., 2005. Баян-Айрагийн цул сульфидын хүдэржилтийн гарал үүсэл. Докторын зэрэг горилсон нэг сэдэвт зохиол. х. 94-96.
- Дэжидмаа Г., 2012. Алтны ордууд. Монголын геологи ба ашигт малтмал номонд. Улаанбаатар, х.204-251.
- Оюунгэрэл С, Жаргалан С, Батбаяр Б, Nakanishi T, Ватанабэ К., 2018. Олон Овоотын алтны ордын хүдэржилт ба хүдрийн эрдсүүдийн парагенез. Хайгуулчин 57. х. 113-129
- Оролмаа Д, 2012. Геохимийн шинжилгээний дүнгийн тайлалт. х. 186-196.
- Оюунгэрэл С, Жаргалан С, Батбаяр Б, Ватанабэ К, Адриан Б., 2019. Олон Овоотын алтны бүлэг ордуудын тогтвортой изотопын (S, O, C) ба флюид ормын судалгааны үр дүн. Хайгуулчин 61. х. 132-142
- Тамир Б., Энхбат Ч., Хишигбаатар нар., 2012. Дорноговь аймгийн Сайхандулаан сумын нутагт орших “Өндөрнаран” алтны үндсэн ордод 2009-2011 онуудад гүйцэтгэсэн хайгуулын ажлын үр дүнгийн тайлан.

- Тамир Б., 2012. Өндөрнارانгийн талбай дахь алт-зэсийн хүдэржилтийн тухайд, Геологийн асуудлууд 12 МУИС-ын 70 жилийн ойн тусгай дугаар. х. 74.
- Тамир Б., 2014. Өндөрнارانгийн талбай дахь алт-зэсийн хүдэржилтийн онцлог, Геологийн асуудлууд 13. GIRAM-2014 олон улсын хурал, х. 135-155.
- Тамир Б., Баттогтох Б., Бадрал нар., 2015. Дорноговь аймгийн Сайхандулаан сумын нутагт орших “Өндөрнاران” алтны үндсэн ордод 2012 онд гүйцэтгэсэн нэмэлт хайгуулын ажлын үр дүнгийн тайлан.
- Тамир Б., 2016. Өндөрнاران ордын геологийн тогтоц, хүдэржилтийн судалгаа, Геологийн асуудлууд 14. Geological Issues of Mongolia and Adjacent Regions, GIMAR-2016. х. 111-120,
- Тамир Б., Жаргалан С., 2016. Өндөрнاران ордын алтны хүдэржилт, магмын чулуулгийн петрологийн судалгаа, Хайгуулчин 56. х. 55-64.
- Тамир Б., Оюунгэрэл С., Жаргалан С., 2017. Өндөрнاران ордын хүдэржилт, гарал үүслийн асуудалд, “Монгол орны ашигт малтмалын ордын геологи минералоги, металлогений асуудал” профессор Ш.Батжаргалын мэндэлсний 70 жилийн ойн хурал, ном 2 х. 132-142.
- Тамир Б., Доржготов Д., Жаргалан С., Тунгалаг Н 2018. Өндөрнاران алтны ордын гарал үүсэл ба үнэмлэхүй насны судалгаа, Геологи судлал 24. х. 92-101.
- Тамир Б., 2019. Өндөрнاران ордын геологийн тогтоц, алтны хүдэржилт. Геологи-Эрдэс судлалын боловсролын докторын зэрэг горилсон нэг сэдэвт бүтээл. х.71-86.
- Төмөртоого О, 2012. Монгол орны ороген мужуудын тектоник мужлалт. Хайгуулчин 46. х.20-35.
- Тунгалаг Н, 2014. Цагаан Суваргын зэс-молибдены порфирын ордын гранитоидын геохими ба хүдэржилт. Докторын зэрэг горилсон нэг сэдэвт бүтээл. х. 121.
- Ухнаа Г, Дэжидмаа Г, Ганцэцэг О., 2017. Алтны ордын геологи, эрэл, хайгуул. х.8-49.
- Дэжидмаа Г., 1985. Геохимические особенности золоторудного поля Бороо в Монголии //Автореферат диссертации ученой степени кандидата геолого-минералогических наук, Новосибирск, 16с.
- Ярмолук В.В., 1983. Карбоновый вулканизм, Пермский вулканизм, Южная Монголия: Континентальный вулканизм Монголии, Улаанбаатар. с.67-110.
- Ярмолук В.В., 1986. Структурная полиция континентальных рифтовых зон Центральной Азии: АН СССР, серия геологическая, №9. с.3-12.
- Barnes Lloyd Hubert., 1979. Geochemistry of hydrothermal ore deposits, Second Edition p.236-390, Third Edition p.657
- Bodnar R.J, 1993. Revised equation and table for determining the freezing point depression of H<sub>2</sub>O-NaCl Solutions. *Cochim. Cosmochim. Acta.* 75. p.683-684.
- Clayton R.N., O’Neil J.R., Mayeda T.K., 1972. Oxygen isotope exchange between quartz and water. *J. Geophys. Res* 77, 3057(17).
- Goldfrab R.J, Groves D.I, 2015. Orogenic gold deposit: Common or evolving fluid and metal sources thought time. *Lithos*, 233, p.2-26.
- Groves D.I, 1993. The crustal Continuum Model for Late-Archaem Lode-Gold deposits of the Yilgarn Block, Westren Australia. *Mineralium Deposita* 28(6):366-74.



- Groves D.I, Goldfarb R.J, Gerbe-Martiam M, Hagemann S.G, Robert F, 1998. Orogenic gold deposit: A proposed classification in the context of their crustal distribution and relationship to other gold deposit types: *Ore geology reviews*, v. 13, p.7-27.
- Guilbert M. John., Jr.Park.F Charles., 1986. *The Geology of Ore Deposits.*, p.251
- JICA (Japan International Cooperation Agency). Report the mineral exopolartion in the Udam tal area in Mongolia. (Phase I, II, III) 1992.
- Lindgern W, 1933. *Mineral deposits*, 4<sup>th</sup> ed. McGraw Hill, New York and London, p. 930
- Matsuhisa Y, Goldsmith JR, Clyaton NR (1979) Oxegyn isotopic fractionation in the system quartz-alibite-anorthite-water, *Geochim Cosmochim Acta* 43:1131-1140.
- Robert, F., Brommecker, R., Bourne, B.T., Dobak. P.J., McEwan 2007. *Models and Expolration Methods for Major Gold Deposit types* p. 691-711
- Ripley E.M, Li C.S, 2003. Sulfur isotope exchange and metal enrichment in the formation of magmatic Cu-Ni-(PGE) deposit. *Economic geology the Bulletin of the society economic geologist*. v.98. p.635-641.
- Samson Lian, Anderson Alan, Marshall Dan., 2003. *Fluid Inclusions*, Chapter 4, p.81-89
- Oyungerel, S., Insung, Lee., 2012. “Sericitic K-Ar dating and sulfur isotope study in Tavit gold deposit in the northern Mongolia” Poster Presentation. 2012 AGU Fall Meeting, 3-7 December, in San Francisco, California, USA
- Oyungerel S, Altanzul Ch, Jargal L, Insung, Lee, Yeongmin, Kim., 2018 “Geological, geochemical and ore genetic study of the Dzuun Mod area gold deposit in north-central Mongolia for the economic exploration and exploitation” Korea-Mongolia joint research programe on science and technology 2015-2017. COR\_03/2015.
- Taylor S.R, McLennan S.M, 1985. *The continental crust: its composition and evolution*. Blackwell, Oxford.
- T.Cambell Mc Cuig, Robert Kerrich, 1998. P-T-t-deformation-fluid characteristics of lode gold deposits: evidence from alteration systematics. *Ore Geology Reveiws* 12 (1998) p.381-453, 420.
- Tamir B, Oyungerel S, Jargalgan S., 2017. Ore mineralogical and fluid inclusion study of Undurnaran deposit, *Mongolian Geoscientist* v 45, p 337.
- Tamir B, Jargal L, Dorjgotov D., 2018. Geology and ore mineralogical study of Undurnaran gold deposit, South Mongolia. *Makuhari Messi Chiba, Japan JpGu-2018*. [http://www.jpgu.org/meeting\\_e2018](http://www.jpgu.org/meeting_e2018)
- Taylor S.R., McLennan S.M., 1985. *The continental crust: its composition and evolution*. Blackwell, Oxford.
- Steiger R.H., Jager E., 1977. Subcommission on geochronology: convention of the use of decay constants in geo – and cosmochronology. *Earth Planet, SciLett* 36, p.359-362.
- Sun S.S., McDonough G.A., 1989. Chemical and isotopic systematics of the oceanic basalts: Implications for mantle compositions and processes // In: Saunders A.D., Norry M.J. (Eds.) *Magmatism in oceanic basins*. Geological (London) Society Special Publication, Vol.428, p.313-345.
- Sourijan S, Kennedy G.C, 1962. The system H<sub>2</sub>O-NaCl at elevated temperatures and pressures. *Am. Jour. Sci.* 260, p.115-141.
- Wilkinson J.J. 2001. Fluid inclusions in hydrothermal ore deposit. *Lithos* Vol. 55. p. 229-279.