

# Монгол орны зарим ордуудын хүдрийн эрдсүүд: Алтжилтыг талстын энгийн дүрстэй холбох нь

*П.Мөнгөнтулга Геологи-З-р түвшин  
Удирдагч доктор, дэд профессор С.Оюунгэрэл*

Монгол Улсын Их Сургууль, Шинжлэх Ухааны Сургууль

Түлхүүр үгс: алт, пирит: Гексаэдр (100), Пентагондодекаэдр (210), Октаэдр (111)

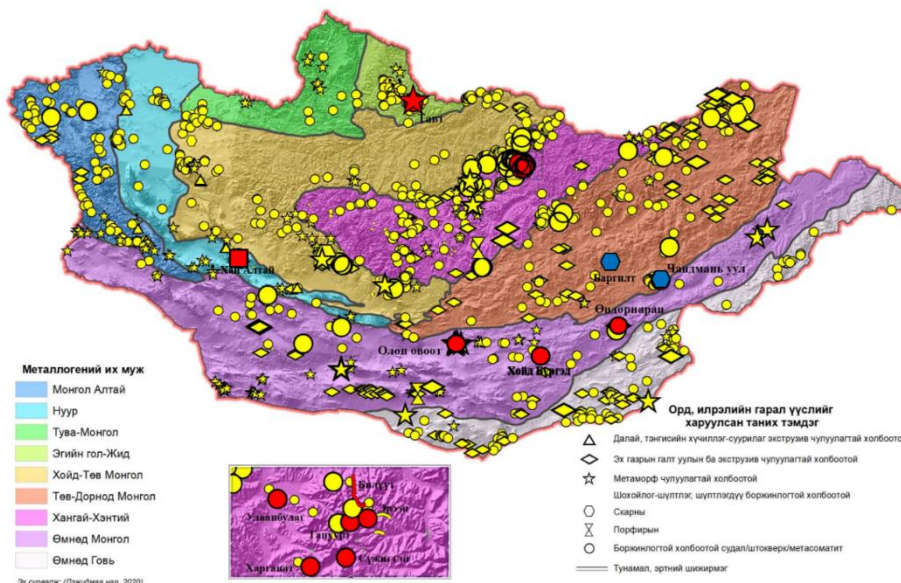
Харилцах зохиогч: П. Мөнгөнтулга

Имэйл: [munguntulgasurensuren2114@gmail.com](mailto:munguntulgasurensuren2114@gmail.com)

## 1. Оршил

Голлох хүдрийн ордуудын ихэнхи эрдсүүд нь сульфидийн бүлгийн эрдсүүд байдаг. Ихэнхи алтны ордуудад мышьяк (As) ба алтны (Au) агуулга эерэг хамаарал үзүүлдэг ба эрдэслэг бүрэлдэхүүнд нь арсенопирит, пирит их тохиолддог. Дэлхий дахинд мышьяк агуулсан пириттэй, арсенопиритэд агуулагдсан алтны хүдэржилт тогтоогдож байна. Ялангуяа пиритийн оронд торон дотор суусан алтны атомын агуулгын хамаарлыг гарган, яг яагаад найрлагандаа алт агуулаагүй эрдсээс алт илэрч байгаа шалтгаан болон алт агуулсан эдгээр сульфидийн эрдсүүдээс хэрхэн олборлох, түүнчлэн ихэнх ашигт малтмал агуулсан сульфидийн эрдсүүдээс хортой нэгдэл болох хүхрийг хэрхэн ашигтайгаар боловсруулан ашиглах цаашдын чиг хандлагыг тодорхойлоход оршиж байгаа юм.

## 2. Монгол орны алтны зарим үндсэн ордууд



Зураг 1. Алтны орд, илрэлийн байршлын зураг (Дэжидмаа нар., 2020\*)

Судалгаанд хамруулсан ордуудын байршлыг “Монгол орны бүс нутгийн металлогени, ашигт малтмалын ордын төрлүүдийн тархалт, байршлын зүй тогтолын 1:1 000 000 масштабын зураг” төслийн үр дүнгийн тайлангаас авч орууллаа (Зураг 1) (Дэжидмаа нар., 2020\*).

### 3. Судалгааны ажлын арга аргачлал

- 1.Шлих минералогийн судалгаанд Motic SMZ 161 TL тринокуляр микроскопыг ашигласан.
- 2.Хүдрийн эрдсийг таниж тодорхойлох минераграфийн судалгаанд BA310 Epi-Pol Motic маркийн нэвтэрсэн ба ойсон гэрлийн туйлширсан микроскопыг ашиглав.
- 3.Хүдрийн эрдсийн химийн найрлагын судалгаанд EPMA (Electron probe micro-analyzer), LA-ICPMS (Laser Ablation Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry), SEM-EDX(Scanning electron microscopy with energy dispersive X-ray spectroscopy), Atomic Absorption Spectrometer болон бусад өндөр түвшний багажнуудыг ашиглав.

### 4. Судалгааны ажлын үр дүн

#### 4.1. Монгол орны зарим үндсэн ордууд дахь алтны химийн найрлагын судалгаа

Алтны үндсэн ордуудаас өнгөлсөн хүдрийн дээжийг бэлтгэж, ойсон гэрлийн микроскопоор судалж, ялгахад хүндрэлтэй хүдрийн эрдсүүдийн болон алтны химийн найрлагыг EPMA (Electron probe micro-analyzer) , LA-ICPMS (Laser Ablation Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry), SEM-EDX(Scanning electron microscopy with energy dispersive X-ray spectroscopy)-багажуудаар судлаачид тогтоосон байдаг (Хүснэгт 1).

	Ордууд	Au	Ag	Te	Bi	Cu	Fe	S	As	Sb	Zn
Исгэдсэн интрузив чулуулагт агуулагдсан судлын орд	Тавтын орд TV-3b-7 (Оюунгэрэл, 2020)	62.28	27.09		0.52	0.91	3.13	0.03	0.04-12.4		
	Тавтын орд 11 хэмжээтний дундажаар (Цэнд-Аюуш ба Будлаков, 1998)	61.09	37.64	0.21	0.57						
Ороген алтны ордууд	Гацуурт GT-461	81.997-84.946	15.094-15.976			0.058-2.052	0.003-0.664	0.145-0.431	0.007-0.025		0.004-0.289
	Гацуурт GT-293 (Оюунгэрэл нар., 2018)	88.066-88.951	10.348-10.995	0.008-0.024	0.471-0.577	0.024-0.118	0.075	0.135-0.172	0.015-0.075	0.011-0.02	0.075
	Олон Овоот (Оюунгэрэл нар., 2017).	Шингтээлэг хүдэржилт	95.4-99.3	1.8-2.5		0.2	0.2-0.3	0.2			
		Кварцын судлын хүдэржилт	97.2-97.9	2.7-2.9		0.2	0.1	0.1	0.1		0.1
		Кварц-карбонатын хүдэржилт	96.1-96.5	2.5-2.8		0.2	0.1-0.2	0.1			
	Өндөрваран (Tami, 2019)	95							5		
ТНЗА	Чандмань Уул (Oyuujargal et al., 2020)	Зөвхөн химийн шинжилгээгээр илэрдэг									
Пул сульфидын орд	Хан Алтай (Iderbat et al., 2021; Мандалбаяр нар., 2022)	Алт-кварц хүдэржилт	Алт нь электрум болон петзит байдлаар байхаас гадна пиритэд голлон агуулагдана. Чөлөөт алт багатай.								
		Алт-сульфид-кварцын хүдэржилт	Электрум Au 66-75%, Ag 22-34% (Ag багадаа 15%, заримдаа 40%, ховроор 50% хүрдэг)								
		Пул сульфидын Хүдэржилт /пирит/	Петзит- Ag 41-43%, Au 20-23% (Ag 41.71%, Au 32.39%, Te 32.90%) Пентагондокеаздр пиритийн хүрээ хэсэгт Au агуулга 197 ppm, Ag 107 ppm, Te 125 ppm, Bi 209 ppm, Cu 65 ppm, Fe 57 ppm, As 75 ppm байна (Iderbat et al., 2021).								

Хүснэгт 1. Монгол орны зарим алтны үндсэн орд дээр хийгдсэн химийн найрлагын судалгаа.

#### 4.2. Монгол орны зарим үндсэн ордуудын хүдрийн эрдсийн найрлагын судалгаа

- 1.Ихэнхи алтны ордуудад ялангуяа ороген ордуудад мышьяк (As) ба алтны (Au) агуулга эерэг хамаарал үзүүлдэг ба эрдэслэг бүрэлдэхүүнд нь арсенопирит нь пириттэй эвшил үүсгэдэг. Дэлхий дахинд мышьяк агуулсан пириттэй холбоотой алтны хүдэржилт тогтоогдож байна.

1.1. Монгол орны ороген алтны ордууд гэж үзэж буй Хойд Хэнтийн металлогенийн бүсийн Бороо, Зуун модны хүдрийн дүүргийн Бороо болон Гацууртын алтны үндсэн орд, мөн Улаанбулаг, Баавгайт, Сүжигтэй, Эрээний алтны ордууд нь арсенопирит, пириттэй эвшил үүсгэсэн байдаг (Баасандолгор нар., 2013; Оюунгэрэл нар., 2018). Ялангуяа Гацууртын ордын алтны хүдэржилт нь 3 үндсэн төрөлтэй.

1. Алт агуулсан цахиржсан бүсийн төрөл. Гацууртын ордын алтны хүдэржилтийн үндсэн төрөл болох боржинд агуулагдах цахиржсан бүсүүд дэх сульфид болон алт нь тархалт, хэлбэр хэмжээ, эрдэсжилтээрээ ялгаатай байна. Сульфидын хэмжээ болон агуулгаас шалтгаалж цахиржсан бүсүүдийн өнгө өөр өөр байдаг.

2. Кварцын судлын төрөл. Кварцийн судлууд хэдэн см-ээс 2 метр хүртэл өргөнтэй тохиолдох ба ихэнхдээ хувирмал элсэн чулууг зүсэн гарч ирсэн ан цавын дүүргэлтийн судал, судланцар, брекчи төрхийн судлууд байдаг. Судлууд нь бага сульфидтэй ба ихэнхдээ нүдэнд харагдах том ширхэгт алт агуулдаг.

3. Алт-сульфидийн (Ан цав болон сарнимал байдлаар үүссэн сульфидийн судланцрууд). Төв ба Үндсэн бүсийн аль алинд нь пирит болон зүүлэг хэлбэртэй арсенопирит үндсэн сульфидүүд болно.

1.2. Хармагтай-Хөнгөөт-Оюут Улааны металлогений бүсийн Хойд бүргэд алтны ордын пирит-арсенопирит (хэвлэгдээгүй үр дүн) болон Өндөр нарангийн алтны ордын пирит-арсенопирит болон пирит-халькопирит нь алт агуулсан байна (Тамир, 2019).

1.3. Олон-Овоотын бүлэг ордод арсенопирит минераграфийн болон EPMA судалгаагаар тогтоогдоогүй ч пирит болон алтанд мышьякийн агуулга тогтоогдсон байна (Oyungerel et al., 2017, 2018, 2019). Эндээс үзэхэд Олон-Овоотын орд дээр энэ байдал ажиглагдаж байна. Үүгээрээ Өлзийтийн металлогенийн бүсийн бусад алтны бүсүүдээс ялгагдах шинж болж байна.

2. Эгийн гол-Жидийн металлогенийн бүсийн Тавтын ордын (Исэлдсэн интрузивтэй холбоотой Au-Ag-Cu-ийн судлын орд) хувьд алт нь электрумын найрлагатай ба халькопирит, теннантит нь алт агуулсан байдаг (Oyungerel et al., 2022).

3. Өмнөд Хэрлэн-Буянтын металлогений бүсийн Чандмань уулын ордод (IOCG) алт нь химийн шинжилгээгээр илэрч байгаа ч, магнетит дотор шигтгээгээр байх боломжтой (Oyunjargal et al., 2020).

4. Нуурын-металлогений бүсийн Хан Алтай ордод алт нь электрум болон петзит байдлаар байхаас гадна алт нь пиритэд сарнимал байдлаар агуулагдана, мөн арсенопирит, сфалерит, халькопирит байна (Iderbat et al., 2021; Мандалбаяр нар., 2022).

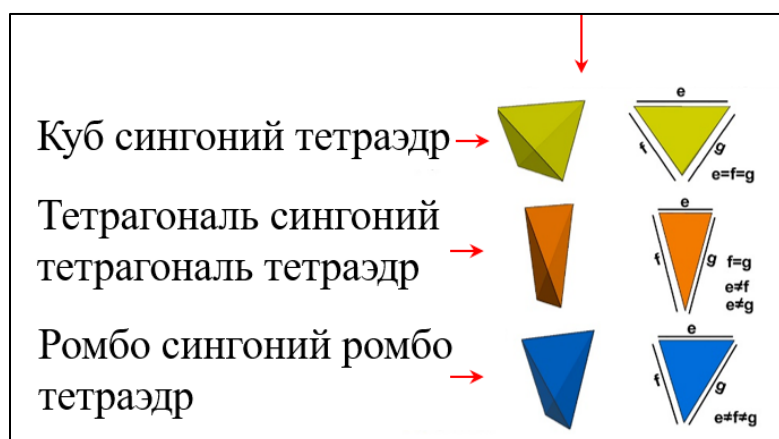
5. Шандын Cu-Mo-ны порфир ордын хүдэржилт нь магнетит, пирит, халькопирит, молибденит, ховроор борнит, халькозин, ковелин, куприт, сфалерит, галенит, арсенопирит, малахит, азурит зэрэг хүдрийн эрдсүүдээс тогтдог. Эдгээр хүдрийн эрдсүүд нь сарнимал шигтгээ, судланцар, штокверк судал болон чулуулгийн ан цаваар тогтоогддог. Хүдэржилт нь ихэвчлэн филлик, потассик хувирлын бүсүүдэд үүссэн байдаг. Шандын ордын хүдрийн эрдсийн ассоциаци нь пирит юм. Пирит нь бусад хүдрийн эрдсүүдээс талсжилт хэлбэрээ зөв олсноороо арай илүү 0.01-5 мм-ийн хэмжээтэй тэгш өнцөгт, шоо хэлбэртэй, жигд биш тархацтай хөгжсөн. Чулуулгийн үндсэн хэсэг ба судланцарт шигтгээ хэлбэрээр хамгийн өргөн тархсан. Хүдэр бүрдүүлэгч ассоциацийн судалгаагаар пиритийн дөрвөн генерацийг ялгасан байдаг.

Е судал буюу сүүлийн үе шатанд алтны агуулга өссөн байдаг (Алтанзул нар., 2021).

#### 4.3. Алтжилтыг талстын энгийн дүртэй холбох нь

	Алт	Мөнгө	Электрум	Петзит	Пирит	Галенит	Аргентит	Халькопирит	Теннантит	Тетраэдрит	Сфалерит	Арсенопирит	Магнетит
Томьео	Au	Ag	Au,Ag	Ag <sup>3</sup> AuTe <sub>2</sub>	FeS <sub>2</sub>	PbS	Ag <sub>2</sub> S	CuFeS <sub>2</sub>	Cu <sub>12</sub> As <sub>4</sub> S <sub>13</sub>	(Cu,Fe) <sub>12</sub> Sb <sub>4</sub> Si <sub>13</sub>	ZnS	FeAsS	FeFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub>
Сингони	Куб	Куб	Куб	Куб	Куб	Куб	Куб	Тетрагональ	Куб	Куб	Куб	Моноклин	Куб
Энгийн дүрс	Октаэдр, ромбододекаэдр	Гексаэдр, октаэдр, ромбододекаэдр	Гексаэдр, октаэдр, ромбододекаэдр	Гексаэдр, октаэдр, ромбододекаэдр	Гексаэдр, пентагондодэкаэдр, октаэдр	Гексаэдр, октаэдр, ромбододекаэдр	Гексаэдр, октаэдр	Тетрагональ тетраэдр (Куб сингоний тетраэдртэй ойролцоо)	Тетраэдр, ромбододекаэдр, гексаэдр	Тетраэдр, ромбододекаэдр, гексаэдр	Гексаэдр, октаэдр, ромбододекаэдр	Призм, пинакойд, пирамид	Октаэдр, ромбододекаэдр

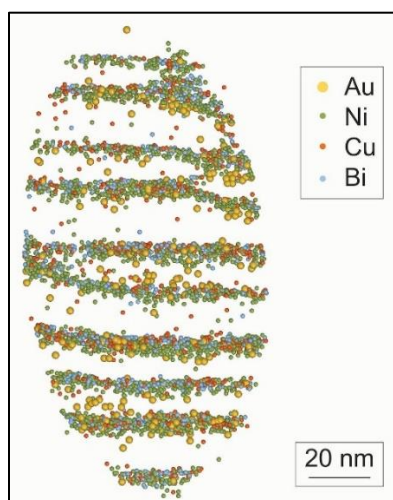
Хүснэгт 2. Хүдрийн эрдсүүд түүний энгийн дүрсүүд.



Зураг 2. Куб сингоний тетраэдр болон тетрагональ сингоний тетрагональ тетраэдрийн харьцуулсан үзүүлэлт.

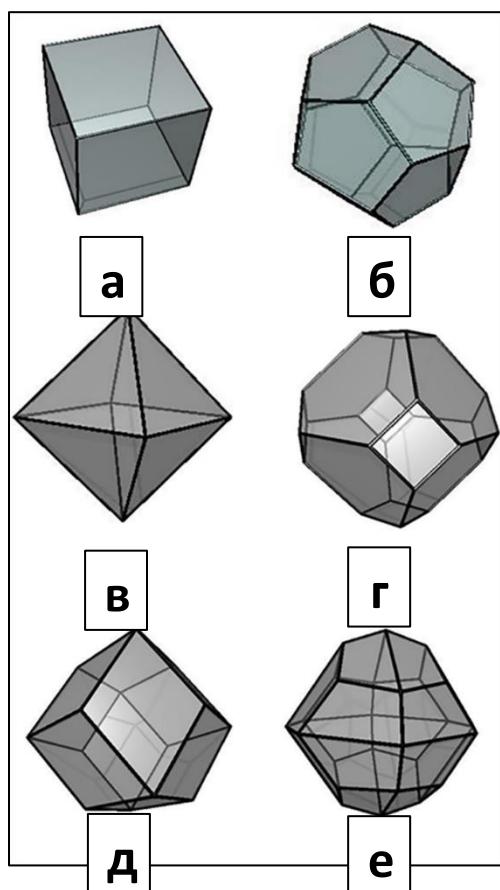
Хүснэгт 2-т дээр куб сингонид талсждаг эрдсүүдийг харуулсан байна. Сульфидын бүлгийн эрдсийг улбар шар хүснэгтэнд, мишьяк агуулсан эрдсүүдийг цэнхэр фонтоор, мөн төмрийн хүдрийн эрдсүүдийг хөх өнгийн хүснэгтэнд хийж тус тус ангилан тэмдэглэсэн болно.

Халькопиритийн хувьд тетрагонали сингонид талсждаг тетрагонали тетраэдр боловч куб сингоний тетраэдртэй маш ойролцоо энгийн дүрс үүсгэдгээрээ онцлог юм (Зураг 2).



Пиритийн талст дотор алт (Au)-ны атомуудын хамт никель, зэс, висмут зэрэг элемент хамт байдаг (Зураг 3).

Зураг 3. Пиритийн талстын оронт тор дахь Au, Ni, Cu болон Bi-ын атомын агуулга 20 nm-ийн түвшинд. Хуваарийн талбар нь 20 нанометрийг заана  $1 \text{ nm} \times 10^{-9}$  метр.



Алтны ордуудад пиритийн эрдэсжилт их байдаг. Зарим бидний судалсан ордууд дээр алтжилт нь пирит дотроо агуулагдсан байдаг. Үүнээс үүдэн пиритийн талст буюу энгийн дүрсүүдтэй алтны хүдэржилтийг холбож тайлбарлах шаардлага гарч байна (Зураг 4).

Пиритийн энгийн дүрсүүд:

**а.Гексаэдр (100)**

**б.Пентагондодекаэдр (210)**

**в.Октаэдр (111)**

г.Октаэдр ба гексаэдрийн хослол (111) ба (100)

д.Ромбододекаэдр (110)

е.Тетрагонтриоктаэдр (123),

Зураг 4. Пиритийн энгийн дүрсүүд.

Тавт, Гацууртын ордууд нь гексаэдр энгийн дүрс бүхий пирит, Шандын ордын хувьд тригонтриоктаэдр байдаг байна. Алт нь гексаэдр болон октаэдр (тригонтриоктаэдр) энгийн дүрс бүхий пиритүүд тархсан газарт дан алт нь чөлөөт болон электрумын найрлагатайгаар нүдээр харагдахуйц тохиолдоно. Харин Хан-Алтай, Баргилт, Хойд бүргэд, Гацууртын ордуудын пирит нь пентагондодекаэдр байдаг ба алт нь маш бага сарнимал байдлаар пентагондодекаэдр энгийн дүрс бүхий пиритүүдэд тохиолдоно.

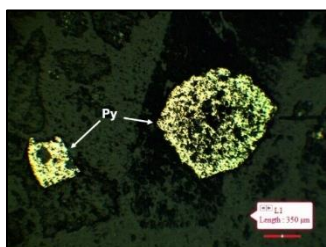




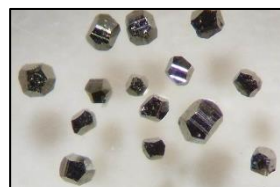
Зураг 5. Хан Алтай ордын Баргилт ордын пирит



Зураг 6. Баргилтын ордын пирит



Зураг 7. Хойд бүргэд ордын пирит


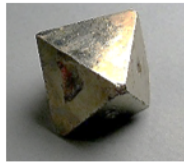
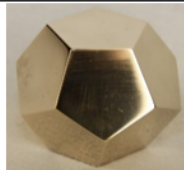


Зураг 8. Гацууртын ордын пирит

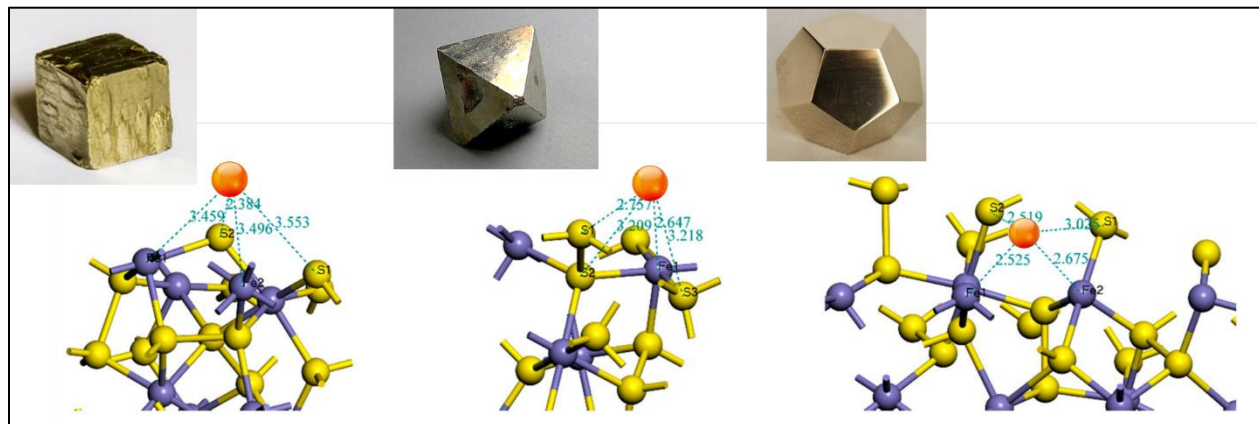
Гацууртын орд дээр үнэмлэхүй насны судалгаа хийгдэж байх үед Гацууртын ордын пирит нь гексаэдр энгийн дүрстэй байсан нь шлих минералогийн судалгаа: Motic SMZ 161 TL тринокулярар тогтоогдсон.

#### 4.4. Алт агуулсан пиритийн талстын судалгаа

1. Адсорбцийн энергийн хэмжээг харьцуулж үзэхэд (210) талст нь алтны атомуудыг шингээсний дараа хамгийн тогтвортой бүтэцтэй болох нь (210) талст дээрх алтны зэргэлдээх атомуудын хоорондох хамгийн богино зайтай тохирч байна. (210) талст нь алтны атомыг шингээх хамгийн хүчтэй чадвартай бол (210) талст нь алтны атомыг шингээх чадвартай, (100) болон (111) талстуудын шингээлт харьцангуй сул байна (Хүснэгт 3).

	Энгийн дүрсүүд	Атомын үе давхарга	Вакуум давхаргын зузаан/Å	Гадаргуугийн энерги J.m2
	(100)	18	10	1.0508
	(111)	15	10	1.5337
	(210)	15	10	1.8255

2. Өөр өөр талстын гадаргуугийн хувьд алтны атомууд болон хөрш атомуудын зай хооронд өөр, (210) пентагондодекаэдрийн алтны атомууд болон хөрш атомуудын хоорондын зай нь (100) куб болон (111) октаэдрийн доторхи алтны атомууд болон хөрш зэргэлдээх атомуудаас бага байгаагаараа хоорондоо ялгаатай байна. Энэ зай нь пирит (210) пентагондодекаэдрийн алтны атомын шингээлтийн нөлөө нь (100) гексаэдр ба (111) октаэдрээс илүү хүчтэй байдагтай холбоотой байж болох юм (Зураг 9).



Зураг 9. Пирит (а) (100), (б) (111), (в) (210) гадаргуу дээр алтны атомууд шингээсний дараа геометрийн оновчлолын загвар. (Шар бөмбөг: S; цэнхэр бөмбөг: Fe; улбар шар бөмбөг: алт)

$$3. \text{Eadsorption} = \text{Eadsorbate/slab} - \text{Eadsorbate} - \text{Eslab}$$

*Eslab* нь пиритийн гадаргуу дээрх шингээлтийн энерги юм

*Eadsorbate/slab* нь шингээлт явагдсаны дараа системийн нийт шингээлтийн энерги юм.

Янз бүрийн пиритийн талстын энгийн дүрсүүд дээр системийн шингээх энергийг тусад нь тооцолсон. Алтны атом пиритийн гадаргуу дээр шингэсэн үед шингээлтийн энерги сөрөг байгаа нь систем илүү тогтвортой байгааг харуулж байна. Шингээлт нь янз бүрийн талстын энгийн дүрсүүд дээр явагдсаны дараа шингээлтийн энерги сөрөг байсан. (210), (111) болон (100) энгийн дүрсүүдийн шингээлтийн энерги нь (−2.68 eV), (−1.67 eV), (−0.84 eV) байна (Зураг 10).

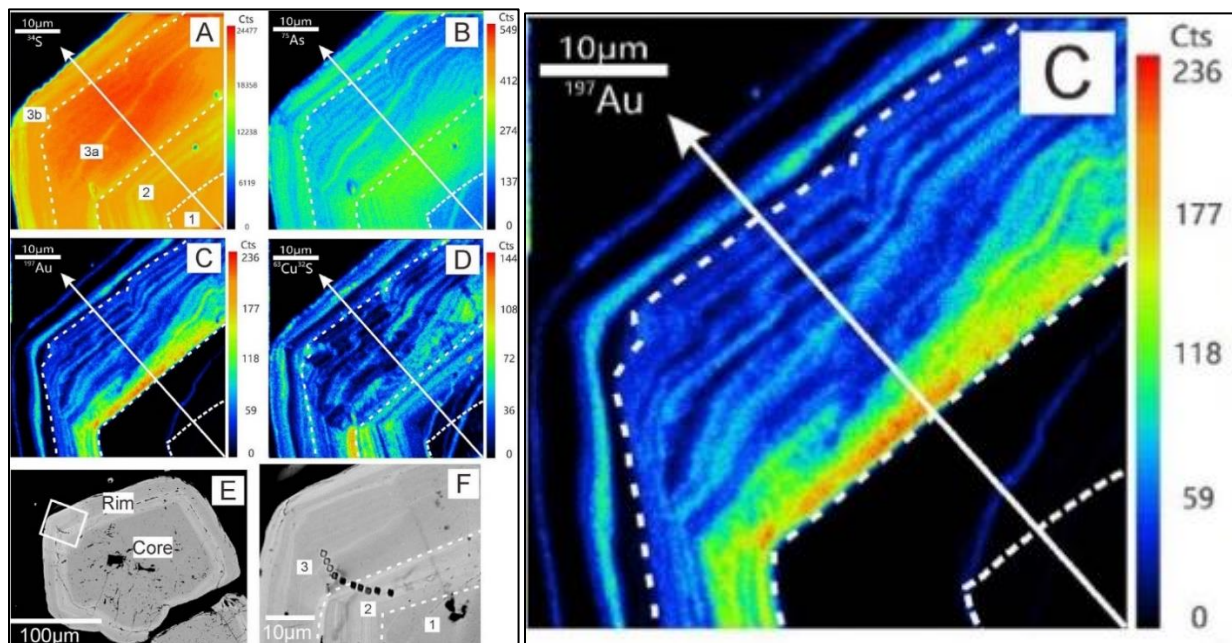
$$(210) (-2.68 \text{ eV}) > (111) (-1.67 \text{ eV}) > (100) (-0.84 \text{ eV})$$



Зураг 10. Пиритийн талстууд дээрх шингээлтийн энерги.

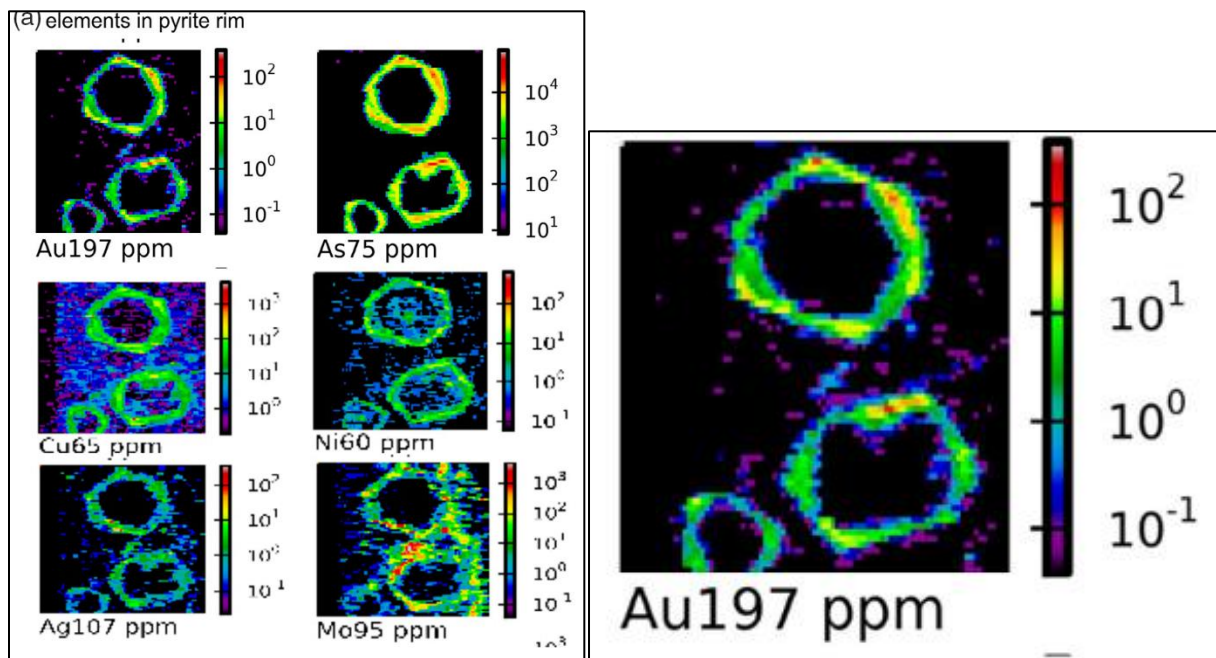
Пиритийн талстын гадаргуу дээрх алтны агуулгийг харж үзэхэд:

1. Lannigou алтны ордын LNG3-1 дээжээс төлөөлөх пиритийн NanoSIMS элементийн зураглалыг зураг 11-т харуулав.



Зураг 11. Lannigou алтны ордын LNG3-1 дээжээс төлөөлөх пиритийн NanoSIMS элементийн зураглал

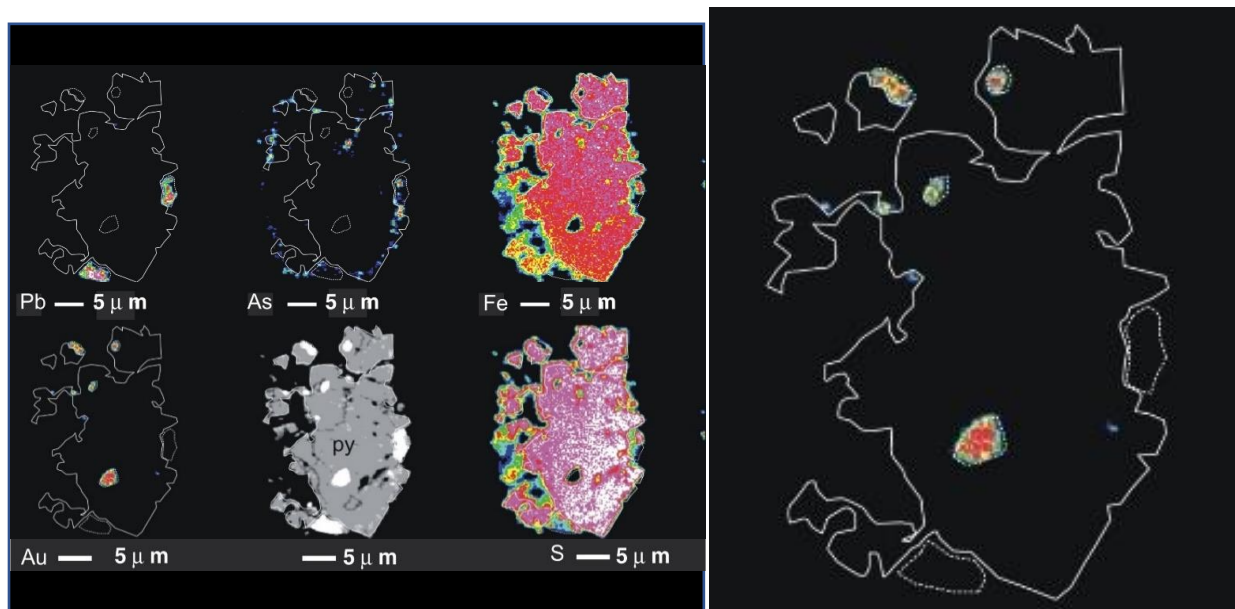
2. HB004-181.6 дээжийн LA-ICPMS (Laser Ablation Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry) элементийн зураглал; 200 μm диаметртэй пиритийн талстуудын тоо/секундийг харуулж байна. Au-ны өндөр агуулгатай саарал кварц судал юм (Iderbat et al., 2021) (Зураг 12).



Зураг 12.

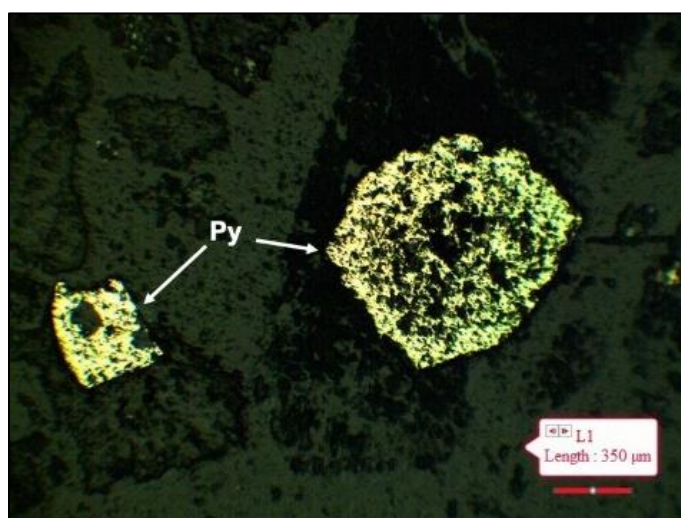


- Гацууртын ордын пиритэд X-Ray Intensity Maps багажаар GT-293 дээжинд судалгаа хийхэд тус пиритэд 382 гр/тн Au байгааг АНУ-ын Геологийн Албаны геологич Тэд Теодор 2010 тодорхойлсон (Баасандолгор нар., 2013) (Зураг 13).

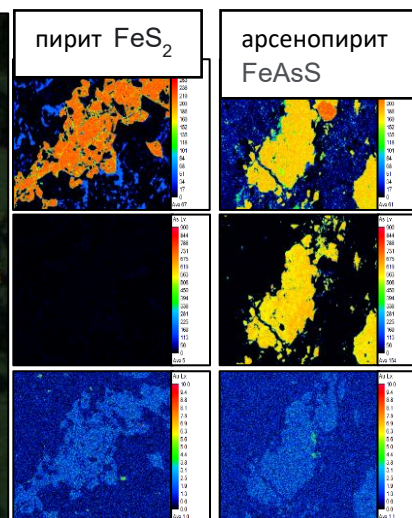


Зураг 13.. Гацууртын ордын пирит дэхь алтны мөхлөг.

- Хойд бүргэдэй ордын пирит болон арсенопиритэд Field Emission EPMA (JEOL) (Electron probe micro-analyzer) багажаар хийсэн элементийн зураглалыг ан-шлифний зургийн хамт үзүүлэв (хэвлэгдээгүй үр дүн) (Зураг 14-15).



Зураг 14. Хойд бүргэдэй ордын пентагондодекаэдр пирит



Зураг 15. Хойд бүргэдэй ордын пирит болон арсенопирит дэх элементийн зураглал.

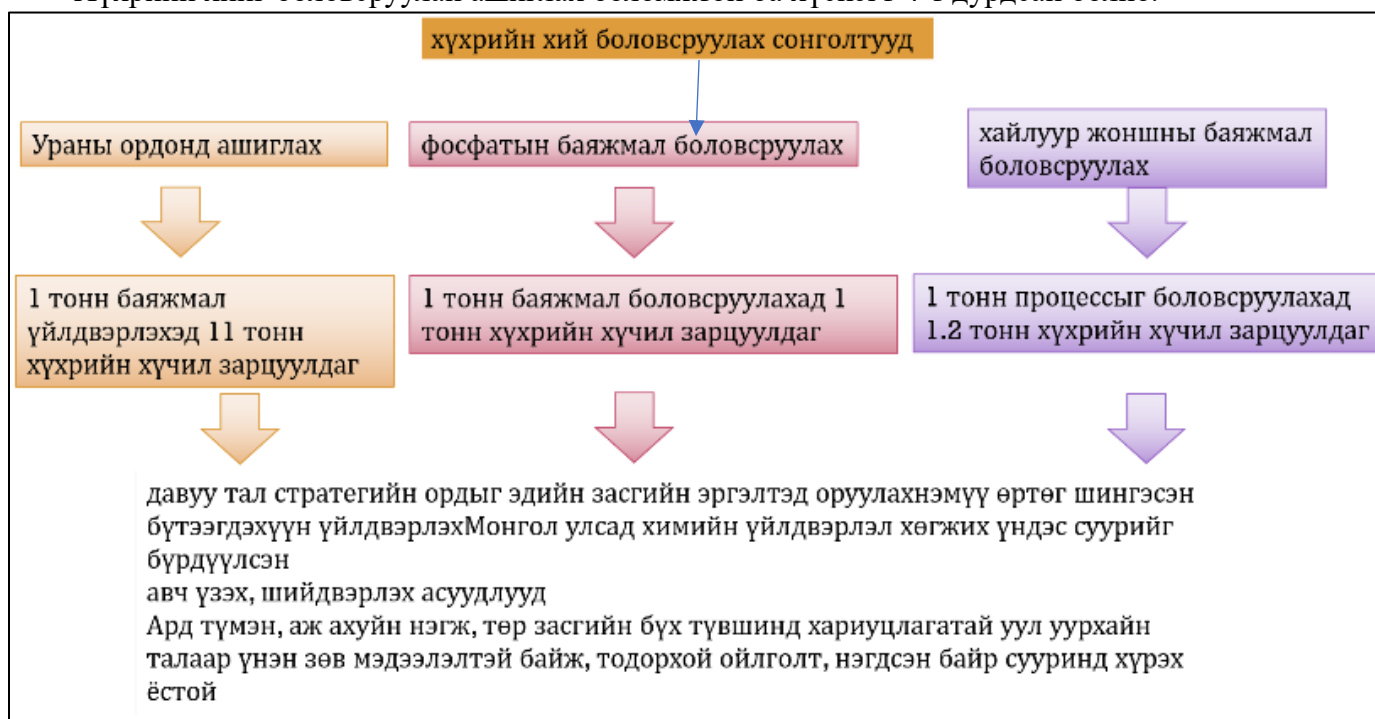
Дээрх дөрвөн судалгааны үр дүнг үзэхэд пиритийн талстад алт нь тодорхой хэмжээгээр агуулагдаж байгааг баталж байгаа юм.

## 5. Хүдрийн эрдсүүд дэхь хүхрийн асуудалд

Хүхэр, селен, теллур, сурьма, мышьяк зэрэг элементүүд ямар нэгэн металлуудтай нэгдсэн нэгдлийг сульфидүүд гэнэ. Ихэнх эрдсүүдийг хүхэртэй нэгдсэн нэгдлүүд үүсгэдэг учир сульфид болон сульфасол гэж нэрлэнэ. Энэ төрлийн эрдсүүд голдуу ямар нэгэн металлуудын хүдэр болдог. Хүдрийн чухал чухал ашигт малтмалын ордыг үүсгэдэг. Жишээ нь Au, Ag, Pb, Zn гэх мэт. Энэ бүлэгт 350 гаруй эрдэс хамаарагдана. Хэдэн зуун сульфидын эрдсүүд мэдэгдэж байгаа боловч зөвхөн тав нь л хангалттай элбэг байдаг ашигт малтмал юм (Bowles et al. 2011). Эдгээр тав нь пирит, пирротин, галенит, сфалерит, халькопирит бөгөөд төмрийн сульфид (пирит, пирротит) давамгайлж байна.

Ийм ч учраас сульфидийн бүлгийн эрдсүүдээс голлох ашигтай элемент болон алтыг салгаж авахаас гадна хүхрийг орхигдуулж болохгүй юм.

Хүхрийн хийг боловсруулан ашиглах боломжтой ба хүснэгт 4-т дурдсан болно.



Хүснэгт 4 . Хүхрийн хийг боловсруулах сонголт ба давуу талууд.

Ийм ч учраас сульфидийн эрдсүүдээс хүхрийг нь салган авч боловсруулах нь маш чухал ач холбогдолтой юм.

## 6. Дүгнэлт

1. Пиритийн гадаргуугийн энерги шингээлт нь (210) талст нь алтны атомыг шингээх сайн чадвартай, (100) болон (111) талстуудын шингээлт нь (210) талстаа бодоход харьцангуй сул байна.

2. Пирит (210) пентагондодекаэдр энгийн дүрс дээрхи алтны атомын шингээлтийн нөлөө нь (100) гексаэдр ба (111) октаэдр энгийн дүрсүүдээс илүү хүчтэй байгаа нь ион хоорондын зай нь харьцангуй ойрхон байгаатай холбоотой байж болох юм.

3. Шингээлтийн энерги нь сөрөг байх тусмаа алтны атом шингээлт нь сайн байна. Энэ нь (210) дээр илүү сөрөг байна.

4. Пиритийн найрлагад As агуулагдах тусам тэр хэсэгт Au-ны агуулга ихсэж байгаа зүй тогтолыг харж болно. Au нь пиритээс гадна дараахи As бүхий хүдрийн эрдсүүдэд агуулагддаг: теннантит ( $\text{Cu}_{12}\text{As}_4\text{S}_{13}$ ), арсенопирит ( $\text{FeAsS}$ ), энаргит ( $\text{Cu}_3\text{AsS}_4$ ), гэх мэт.

5. Алт маань куб сингоний эрдэс учраас бусад куб сингони бүхий хүдрийн эрдсүүдэд агуулагдаж байна. Халькопирит эрдсийн хувьд хэдийгээр тетрагональ сингоний эрдэс боловч куб сингоний тетраэдртэй ойролцоо тетраэдр талст үүсгэдэгээс гадна зэс маань геохимийн хувьд алттай эвшил үүсгэдэг.

6. Хүхэр нь хэдийгээр хортой нэгдэл гэж авч үздэг ч гэсэн хүхрийг боловсруулан эдийн засгийн хувьд ашигтай, улс орны ард аж ахуйд хэрэгцээтэйгээр ашиглаж болох юм.

7. Хүдрийн эрдсүүдийн судалгааг нарийн хийснээр голлох ашигт малтмалаас гадна дагалдах ашигт малтмалыг (дагалдах элемент) хэрхэн гаргаж авах болон хортой элементийг (хүхэр) хэрхэн үр ашигтайгаар ашиглах талаар илүү их боломж, гарц гаргалгааг олж эдийн засгийн хувьд ордыг бүрэн дүүрэн ашиглах ач холбогдлыг нарийн судлаж илрүүлэх нь геологич бидний хувьд чухал ойлголт юм.

#### **Ашигласан бүтээлийн жагсаалт**

- Баасандолгор, Л., Алтанзул, Ч., Бүрэнтөгс, Ж., Өлзийбаяр, Ж., Усна-Эх, Ц., Батбаатар, С., Монголмаа, Г. 2013. *Сэлэнгэ аймгийн Мандал сумын нутаг дахь Гацууртын алтны үндсэн ордод 1998-2010 онд гүйцэтгэсэн хайгуулын ажлын үр дүнгийн тайлан*. “Ложекс” ХХК. Улаанбаатар.
- Дэжидмаа, Г., Жаргалан, С., Ганцэцэг, О., Ариунбилэг, С., Болд-Эрдэнэ, Б., Хүрэлбаатар, Б. 2020. Монгол орны бүс нутгийн металлогени, ашигт малтмалын ордын төрлүүдийн тархалт, байршлын зүй тогтолын 1:1 000 000 масштабын зураг” төслийн үр дүнгийн тайлан.
- Мандалбаяр, Г., Төмөрбаатар, Х., Нямдорж, Д., Мэндбилэг, Ц., Гансүх, Ц., Баярцэцэг, Р. 2022. Хан-Алтай алтны үндсэн ордын геологийн тогтоц. *Хайгуулчин*, 61: 104-109.
- Оюунгэрэл, С. 2002. Тавтын алтны үндсэн ордын минералогийн судалгаа. *Геологийн асуудлууд” онол-аргазүйн сэтгүүл*, 5: 48-52.
- Оюунгэрэл, С., Жаргал, Л. 2019. Монгол орны зарим талбайнуудад тархсан магмын болон тунамал чулуулгуудын цирконы Th/U-ны харьцаа болон дотоод бүтцийн судалгаа. *Геологийн асуудлууд сэтгүүл*, 17 (519): 52-62 хуудас
- Оюунгэрэл, С., Жаргалан, С., Батбаяр, Б., Ватанабэ, К. 2017. Олон-Овоотын алтны ордын хүдрийн уусмалын ормын судалгаа. *Хайгуулчин*, 59: 200-210.
- Оюунгэрэл, С., Жаргалан, С., Батбаяр, Б., Nakanishi, Т., Ватанабэ, К. 2018. Олон-Овоотын алтны ордын хүдэржилт ба хүдрийн эрдсүүдийн парагенез. *Хайгуулчин*, 59: 200-210.

- Оюунгэрэл, С., Жаргалан, С., Батбаяр, Б., Ватанабэ, К., Андриан. Б. 2019. Олон-Овоотын алтны бүлэг ордуудын тогтвортой изотопын (S, O, C) ба флюид ормын судалгааны үр дүн. *Хайгуулчин*, 61: 132-141.
- Тамир, Б. 2019. *Өндөр наран ордын геологийн тогтоц ба алтны хүдэржилт*. Геологи-Эрдэс судлалын ухааны докторын (Ph.D) зэрэг горилсон нэг сэдэвт бүтээл. Улаанбаатар.
- Цэнд-Аюуш, Ж., Булдаков, Н. Г., 1998. *Отчет о результатах разведочных работ на золоторудном месторождении Тавт с оперативным подсчётом запасов по состоянию на 1 января 1998г.* Совместная Монголо-Российская компания “Эм энд Даймонд” ТОМ.I. Книга 1. Текст отчёта. Улан-Батор.
- Цэнд-Аюуш, Ж., Булдаков, Н. Г., Гончигжав, Н., Товуудорж, Д. 1999. *Промежуточный отчет по оперативному запасов и прогнозных ресурсов золоторудных месторождений Тавт и Тэшиг по состоянию на 1 января 1999.* Совместная Монголо-Российская компания “Эм энд Даймонд”. ТОМ.I. Книга 1. Текст отчёта. Улан-Батор.
- Iderbat K, Ganbat M, Densmaa N, Khashgerel B-E, Dashbaatar D-O, Kavalieris I. Geology, mineralization and short wave infrared alteration mapping of the Khan Altai Au deposit, Mongolia. *Resource Geology*. 2021;1–16. <https://doi.org/10.1111/rge.12260>
- 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 programme on science and technology, 2015- 2017. COR\_03/2015.
- Oyungerel, S., Insung, L. 2010. Gold-Ore Paragenesis and Trace Element Geochemistry of the Tавт Orogenic Gold Deposit. *Mongolia, Korean Fall Meeting*, 210.
- Oyungerel S., Kim Y., Lee, I., Jargal., Tegshbayar B., Khorolsuren S. 2022. Geology, mineralogy and geochemistry of Tавт gold deposit in Dzhida zone, northern Mongolia: Implications for the evolution of intrusion and ore mineralization. *Episodes*, Published online December 1, 2022. Copyright © International Union of Geological Sciences. <https://doi.org/10.18814/epiiugs/2022/022042>
- Jun Yana,b, Ruizhong Hua,b,\*, Shen Liuc, Yangting Lind, Jianchao Zhangd, Shanling Fuaa. 2017. NanoSIMS element mapping and sulfur isotope analysis of Au-bearing pyrite from Lannigou Carlin-type Au deposit in SW China: New insights into the origin and evolution of Au-bearing fluids. *State Key Laboratory of Ore Deposit Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550081, China*.
- Yeogmin, K., Insung, L., Oyungerel, S., Altanzul, Ch., Jargal, L., Nak, K. Kim. 2020. Geology, mineralogy and stable isotope geochemistry of the Dzuunmod area in northern Mongolia: Constraints for gold ore genesis and sources. *Ore Geology Reviews*, 118: 103213. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2019.103213>.