

СУДАЛГААНЫ ӨГҮҮЛЭЛ

ТАВТЫН ОРДЫН ФЛЮИД ОРМЫН БА ХҮХРИЙН ИЗОТОПЫН СУДАЛГААНУУД: ХҮДЭРЖИЛТ ҮҮССЭН ОРЧИН

С.Оюунгэрэл¹ | Л.Жаргал^{1*} | Insung Lee² | Б.Тэгшбаяр³ |

¹ МУИС, Шинжлэх Ухааны Сургууль, Улаанбаатар 14201, Монгол улс

² Сөүлийн Үндэсний Их Сургууль, Дэлхий ба Байгаль Орчны Шинжлэх Ухааны Сургууль, Сөүл 08826, БНСУ

³ Гурван талст ХХК, Улаанбаатар 49-309, Монгол улс

Abstract

Хүлээн авсан: 2022-01-14

Засварлагдсан: 2022-01-15

Зөвшөөрөгдсөн: 2022-01-16

Түлхүүр үг:

Флюид ором, Хүхрийн изотоп,
Тавтын орд, Монгол

Харилцах зохиогч:

Л.Жаргал Монгол Улсын Их
Сургууль, Шинжлэх Ухааны
Сургууль

Имэйл: jargal_l@num.edu.mn

The Tavt ore field is located in the northern part of Mongolia. The ore field containing the Tavt deposit, which covers 90 square km, is in the Dzhide zone at the junction of two regional faults that trend NW and NE. This zone, which spans the border between Mongolia and Russia is overlapped and stitched with Orkhon-Selenge trough assemblages. The geology of the deposit consists of the Early Paleozoic Zhida intrusive complex, the Late Paleozoic Selenge intrusive complex, the Early Mesozoic Orkhon complex, the Ediacaran-Early Cambrian metavolcanic Badar River Formation, and the Early Cambrian carbonate-terrigenous Burgelt Formation. The Tavt deposit is mainly hosted in the Early Paleozoic Zhida intrusive complex. As a result of exploration, approximately 100 quartz veins, which categorize into 10 vein groups, were determined. The third vein group is the most important among 10 vein groups. These quartz veins have an average grade of 6.3 g/t Au, 29.4 g/t Ag, and 1.3% Cu. The lodes are characterized by high Au/Ag ratios and have relatively higher Cu (up to 1.3%) contents than those from other gold deposits in Mongolia. The main characteristics of the Tavt deposit are variable amounts of chalcopyrite, bornite, gold, tennantite, chalcocite, covellite, finely disseminated pyrite, galena, sphalerite, silver, hessite, copper and molybdenite, occasional argentite, pyrrhotite. The fluid inclusion analysis study shows that there are four types of fluid inclusions, vapor-liquid two-phase inclusions, vapor rich inclusions, CO₂ bearing inclusions, and vapor-liquid-halite three phase inclusions. This gold deposit is composed of two stages of quartz vein groups. The homogenization temperature (Th) of the early stage of quartz vein is about 200-332°C with 6.5 wt. % ~ 22wt. % salinity and late-stage is below 200°C. Alteration assemblages, ore minerals, and fluid inclusion and stable isotope data imply that the veins were formed under conditions of episodic fluid pressuring (125 bar), at a depth of 1.5 km, and a temperature of 332°C. The δ³⁴S values of sulfides from Tavt deposit are from -8.6‰ to 3.6‰. This narrow range of δ³⁴S values indicate that it is formed by hydrothermal fluid which is considered to be of granitic magma origin. Δ³³S values of sulfide from Tavt deposit is near '0'. It indicates that sulfur which is related to form the Tavt deposit is not recycled from the age of Archean.

1. ОРШИЛ

Монгол орон нь алт, зэсийн хүдэржилтээр баян орны тоонд орох бөгөөд Монгол орны хойд хэсэгт байрлах Зэдийн бүс нь алт, зэсийн хүдэржилтийн хэтийн төлөв өндөртэй геологичид, олборлогчдын сонирхлыг татдаг нутаг юм. Зэдийн бүсэд тархсан палеозой-мезозойн насны

гранитоид чулуулгуудтай холбоотой үүссэн ихэнх ашигт малтмалын орд, илрэлүүдийн гарал үүсэл, агуулагч чулуулгийн үнэмлэхүй нас, үүсэл, тектоникийн тогтцын асуудал тайлбарлагдаагүй байгаа болно. Ялангуяа зарим орд, илрэлүүд нь геологийн нийлмэл тогтоцтой, олж илрүүлэхэд төвөгтэй, харьцангуй илэрц муутай, ой модоор бүрхэгдсэний улмаас зарим хэсэг нь

далдлагдсан байгаа учраас судлагдаагүй байдаг. Иймээс энэ бүс нутгийн геологийн тогтоц, орд илрэлүүдийн гарал үүслийг судлан тогтоох нь алт-зэсийн хайгуул, судалгаа хийж байгаа геологичдод их чухал байгаа юм.

Тавтын хүдрийн талбай нь Эгийн голын металлогений бүсийн Эрэн-Тэшигийн хүдрийн дүүрэгт оршино. Булган аймгийн Тэшиг сумын төвөөс баруун хойш 32 км-т Эрэнгийн голын баруун талд, Дуут-гол, Цагаан-Шарын гол, Нарийны гол ба Хустын голуудын сав газрыг бүхэлд нь багтаасан 90 км² бүхий талбайг эзлэн оршино. Солбицол: 50°07'12", 102°26'04".

1983 онд Тэшигийн районд Монголын геологийн зураглалын экспедици 1:1500000 масштабын урьдчилсан геологийн ажил явуулсан. Энэ ажлын үр дүнд Эрэн голын адагаас 10 км.т 0.05-1% Мо, 0.5-1% Си, 10-300 г/тн Аг, 1-4 г/тн Ау-ны агуулгатай кварцын судал илрүүлсэн. Энэ хүдрийн илрэлийг "Эрэн" гэж нэрлэсэн. Хожим нь "Эм энд Даймонд" ХХК-ийнхэн 1997 оноос Тавт хэмээн нэрлэх болсон.

1984 онд Эрэнгийн (Тавтын) хүдрийн 4.2 км² талбайд 1:10000 масштабын геологилитохимийн эрлийн ажлыг гүйцэтгэж, үүний үр дүнд хүдрийн эрдэсжилттэй шинэ кварцын судлуудыг илрүүлсэн.

1995-1998 онд Монгол-Оросын хамтарсан "Эм энд Даймонд" ХХК тус ордын 1, 1а, 1б, 2, 3, 3а, 3б, 4 хүдрийн бүсүүдэд эрэл-үнэлгээ, хайгуулын ажлыг гүйцэтгэж таамагласан баялгийг үнэлсэн ба 1999 онд 1999 онд 3-р хүдрийн бүсэд нарийвчилсан хайгуулын ажил явуулж, 3-р хүдрийн бүсийн нөөцийг С (бодитой) зэргээр тооцсон ба Хүдрийн биетүүд нь эрдсийн бүрэлдэхүүний хувьд бага сульфидлаг, бага, дунд температурын гидротермаль гарлын алт-кварцын формацид хамаарагдана гэж үзсэн (Цэнд-Аюуш и др., 1999). 2004 онд "Эм энд Даймонд" Корпораци, "EAMC and Walloper Gold Resources" ХХК-ийн хийсэн "Technical report on the Tavat Project, Bulgan province, Mongolia" тайлан дээр Тавтын орд нь Жидийн арлан нумын нөхцөлд түрсэн гранитад агуулагдсан үелсэн мезотермаль

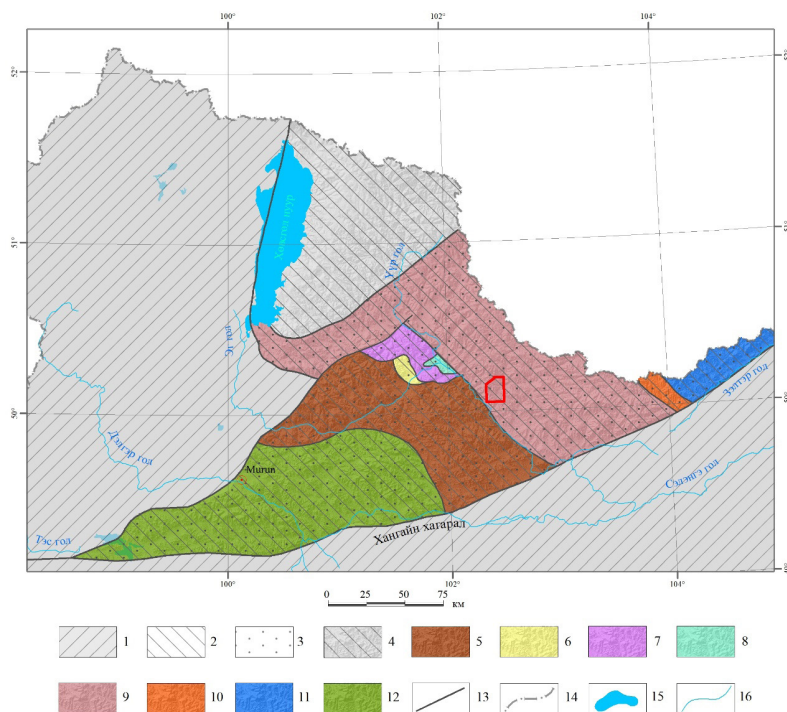
судлын орд гэж үзсэн байдаг (David & Garson, 2004). Тус өгүүлэлт Тавтын ордын хэмжээнд анх удаа флюид ормын болон хүхрийн изотопыг тодорхойлох зэрэг судалгаануудыг хийсэн бөгөөд судалгааны гол зорилго нь ордын хүдэржилт үүссэн орчинг тодорхойлох болно.

2. ГЕОЛОГИЙН ТОГТОЦ

2.1. Региональ тектоникийн нөхцөл

Тавтын хүдрийн талбай нь 90 км² талбайг хамардаг бөгөөд Монгол, Оросын хоорондох хилийг дамнан байрлах Зэдийн бүсэд (Badarch *et al.*, 2002) хамаарна (Зураг 1). Зэдийн бүсийн Оросын хэсэг нь баруун хойш чиглэлтэй региональ хагарлын бүсийн дагуу нарийн зурвас үүсгэнэ. Хагарлын бүсийн баруун хэсэг нь плагиогранит-тоналит-диоритоос тогтсон асар том талбайтай. Зэд бүсийн Монголын тал нь Оросын талаас (Gordienko *et al.*, 2007) хамаагүй том газар нутгийг эзэлдэг (Зураг 1).

Зэдийн бүсийг Монголын талд Төмөртоогоо (2002) Эгийн голын болон Уйлан голын арлан нумын болон Үүр голын симаунтын террейнуудад, Badarch *et al.* (2002) Зэдийн арлан нумын террейнд, Оросын нутагт үргэлжлэх хэсгийг Альмухамедов и др. (1996) Зэдийн арлан нумын бүс, Хоролсүрэн нар. (2018) Эгийн голын бүсэд тус тус хамааруулсан байдаг. Тус бүс нь Эг, Үүр, Ариг, Уйлан, Зэлтэр голуудын ай савуудын дагуу байрлан, хойд талаараа Аригийн голын хагарлаар Хамардавааны бүстэй, урд талаараа Зэлтэрийн (Хангай) хагарлаар Төв Монголын массиваас зааглагдана. Зэдийн бүс Палеоазийн далайн байран дээр хэлбэржсэн каледоны атираат структур учир Төв Азийн ороген бүсийн тектоник хөгжлийн маш чухал мэдээллийг өгдөг.



1.Төв Монголын массив, 2. Дорнод-Хөвсгөлийн мегабүс
Бүсүүд: 3. Эд, 4. Хамардаваа; Дэд бүсүүд: 5. Өмнөд Эгийн гол, 6. Нармандал, 7. Баянгол, 8.
Үүр гол, 9. Уйлан гол, 10. Жидогт, 11. Улаанбаатар, 12. Зунай гол, 13. Хагарал, 14. Улсын хил, 15. Нуур, 16. Гол

Зураг 1. Эгийн голын бүсийн региональ геологийн тогтоц (Хоролсүрэн нар., 2018)

Зэдийн бүс нь хожуу неопротерозой-түрүү кембрийн энсиматик арлан нум болон симаунтын геодинамик орчинд үүссэн нийт 8 тохоост-атираат структуруудаас (дэд бүс) бүрдэнэ (Альмухамедов и др., 1996, Томурхуу, 1999). Эдгээрийн ихэнх нь Монголын нутагт ялгагдаж иржээ. Хожим 1:200 000-ны масштабтай Монгол улсын геологийн зургийг нэгтгэн зохиох явцад Оросын талд ялгагдаж ирсэн тохоост-атираат структуруудын зарим нь структурын байрлалаараа Монголын нутаг дэвсгэрт ялгагдах боломжтойг харгалзан Өмнөд Эгийн голын, Нармандалын, Баянголын, Үүр голын, Уйлан голын, Жидогтын, Улаанбаатарын, Зунай голын гэсэн 8 дэд бүсүүдэд (Хоролсүрэн нар., 2018) хуваасан байна (Зураг 1). Тэдгээрийн хоорондох хил зааг нь ихэвчлэн тохрол хагарлуудаар гарч ирсэн серпентинитийн меланжийн бүс, гипербазитын массиваар

илэрхийлэгдэнэ. Эдгээр тохоост-атираат структурууд нь өөр хоорондоо офиолит комплексын вулканоген чулуулаг болон хожуу неопротерозой-түрүү кембрийн вулканоген чулуулгуудаар ялгагддаг. Зэдийн бүсэд Палеоазийн далайн спредингийн бүсийг тодорхойлдог далайн голч нурууны вулканит, арлан нумын системд онцлог шохойлог-шүлтлэг вулканитууд тэр тусмаа бонинитууд, мөн далайн арлын өндөр титанлаг шүлтлэг вулканитын 3 групп ялгасан (Альмухамедов и др., 1996; Томурхуу, 1999; Gordienko et al., 2007). Тавтын хүдрийн талбай нь Уйлан голын дэд бүсэд (Ильин, 1982; Төмөртоогоо, 2002) байрлана. Уг дэд бүс нь хожуу неопротерозойн (?) офиолит эвшлийн чулуулаг болох серпентинитжсэн хэт суурилаг чулуулаг, үеллэг серийн чулуулаг, метабазальт (пиллоу лаав)-аар уулагдаж, дээш энсиматик арлан нумын бүтээгдэхүүн

болох эдиакари-түрүү кембрийн шохойлог-шүлтлэг эгнээний базальт-андезит-дацитын Бадарынгол формац, түрүү кембрийн 2 төрлийн найрлагатай метатерриген болон карбонат-флишийн Бүргэлт формац, арлан нумын үе шатанд үүссэн түрүү палеозойн Зэд интрузив бүрдэл (дунд-хожуу кембри) габбро-диорит-плагиогранитын, түрүү ордовикын коллизын Тэлмэн интрузив бүрдэл, постколлизын бүрдлүүд болох дунд палеозойн Тэс интрузив бүрдэл, хожуу палеозойн Сэлэнгэ интрузив, хожуу палеозой-түрүү мезозойн Орхон бүрдлүүдээр төлөөлөгддөг.

2.2. Эгийн голын минерагений бүс

Тавтын орд нь Монгол орны Дэжидмаа нарын (2020*) ангилал, Хоролсүрэн нарын (2018) судалгаагаар Эгийн голын металлогений бүсийн Эрэн-Тэшигийн хүдрийн дүүрэгт, Эрэнгийн хүдрийн зангилааны Тавтын хүдрийн талбайд оршино. Эгийн голын минерагений бүс нь баруун хойд талаараа Хамардаваа, баруун талаараа Дархад, урд талаараа Тарвагатай,

зүүн урд талаараа Баянгол, Бүтээлийн минерагений бүстэй хил залгаа оршино (Зураг 2).

Эгийн голын минерагений бүсэд ашигт малтмалын төрөл, тархалт, байршил, гарал үүслээрээ ялгаатай 4 хүдрийн дүүргийг ялгадаг. Үүнд: 1. Цагаан-Үүрийн, 2. Эрэн-Тэшиг, 3. Зэд, 4. Зэлтэр (Хүснэгт 1). Эрэн-Тэшигийн хүдрийн дүүрэгт эдиакари-доод кембрийн арлан нумын дундлаг найрлагатай метавулканоген хурдас, нумын арын шельфийн (нум хоорондын) доод кембрийн терриген-карбонат хурдсууд, тэдгээрийг зүссэн габбро-плагиогранитын бүрдлийн интрузивтэй холбоотой алтны судлын (Тавтын орд) болон шижирмэг орд, илрэл, эрдэсжсэн цэгийг агуулсан Эрэнгийн, скарны төрлийн алт-зэсийн хүдэржилт давамгайлсан (зэс, төмрийн Тэшигийн бүлэг илрэл) Тэшигийн гэсэн 2 хүдрийн зангилааг ялгадаг (Хоролсүрэн нар., 2018). Тавтын орд нь Эрэнгийн хүдрийн зангилааны Тавтын хүдрийн талбайд оршино.

Хүснэгт 1. Эгийн голын минерагений дүүрэгчлэл (Хоролсүрэн нар., 2018)

Минерагений бүс	Хамрах хавтгай	Хүдрийн дүүрэг	Хүдрийн зангилаа	Хүдрийн талбай	Ашигт малтмалын төрөлжилт	Тектоникийн бүс	Геодинамик ийн нөхцөл
Эгийн гол	M-47-XII, XVIII	Цагаан-Үүр	Уйлган	Уйлган гол	Au, Ni-Au	Эгийн гол	Арлан нум
	Агуйтын нуруу		Дархинт гол	Au			
			Цахир уул	Cu-Ni, Au			
			Баян	Au, Ni			
			Хайрхан уул	Au, Ni			
	Заяат		Заяат уул	Au, Nb			
			Тарвагатай	Au			
			Дондойн	Au			
	Эг-Үүр		Нарст уул	Ni-Cr, Au			
			Хөх чулуут уул	Au-Ni, Cr-Ni, серп, тальк			
			Хавчилтайн булан	Au-Ni, Ni-Cr			
	Нармандал		Жаргалантын нуруу	Cr, (Au), нефрит			
			Нармандалын-Овоо	Au, Cr, нефрит,			
			Өлөнт	Cr			
			Эг бургалтайн бэлчир	Au			

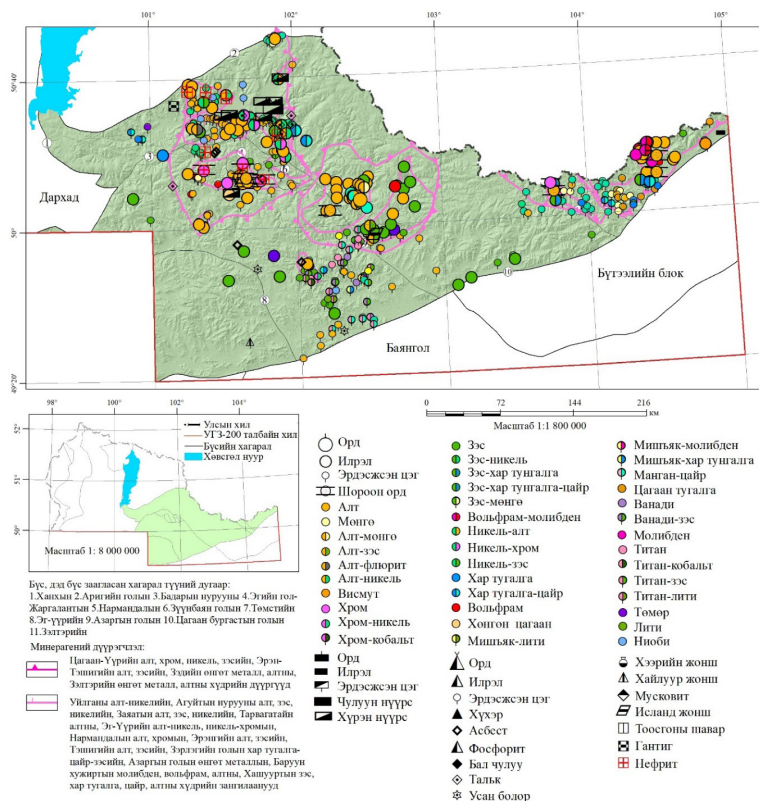
Эгийн гол	M-48-XIII	Эрэн-Тэшиг	Эрэн	Хустын эх	Au, Cu	Эгийн гол	Арлан нум
				Ар хүзүүт	Au		
				Тавт	Au		
				Салхит	Au		
				Эг-Эрэнгийн бэлчир	Au		
				Ар зорлого			
	M-48-XIX	Тэшиг	Тэшиг	Жаргалант	Cu		
				Овооны булан	Cu, Au		
				Хэц уул	Au		
				Дунд нарийн	Cu, Au		
				Булагт ам	Au		
				Тэшиг уул	Au, Cu		
	M-48-IV, XX	Зэд	Азаргын гол	Бор нуруу уул	Au, Cu, Fe		
				Цахир уул	Cu, Fe		
	M-48-V, XXI	Зэлтэр	Баруун хужирт	Цагаан жалга	Au, Cu, Pb		
				Булагтай	W, Mo		
			Хашуурт	Тарвагатай	Au		
				Зүүн тарвагатай	Au		
			Ханан	Ханан	Pb, Zn		

Тавтын орд нь Хоролсүрэн нар. (2018), хэрхэн ангилагдаж байгаа харьцуулалтыг
 Дэжидмаа нар. (2020*) судлаачдын хийсэн (Хүснэгт 2)-д харууллаа.
 Эгийн голын минерагений дүүрэгчлэлээрээ

(Хүснэгт 2. Эгийн голын минерагений дүүрэгчлэлийн харьцуулалт (Хоролсүрэн нар., 2018; Дэжидмаа нар., 2020*))

Дүүрэгчлэл	Хоролсүрэн нар., 2018	Дэжидмаа нар., 2020*
		Эгийн гол-Жидийн их муж
Минерагений ба металлогенийн бүс	Эгийн голын минерагений бүс	Эгийн голын металлогений бүс
Хүдрийн дүүрэг	Эрэн-Тэшигийн хүдрийн дүүрэг	Тариалан-Тэшигийн хүдрийн дүүрэг
Хүдрийн зангилаа	Эрэнгийн хүдрийн зангилаа	Тавтын хүдрийн зангилаа
Хүдрийн талбай	Тавтын хүдрийн талбай	
Орд	Тавтын орд	Тавтын орд

*Хэвлэгдээгүй тайлан



Зураг 2. Эгийн голын минерагений бүс, дүүрэгчлэл (Хоролсүрэн нар., 2018)

2.3. Ордын геологи

Тавтын ордын хэмжээнд эдиакари-доод кембрийн Бадарынгол, доод кембрийн Бүргэлт формацуудын вулканоген, карбонат-терриген хурдсууд мөн түрүү палеозойн Зэд, хожуу палеозойн Сэлэнгэ, хожуу палеозой-түрүү мезозойн Орхон бүрдлүүд тархсан байдаг (Зураг 3).

2.3.1. Давхарга зүй

Бадарынгол формацийн хурдас нь Тавтын ордын баруун хойд хэсэгт тархах ба базальтаас риодацит хүртлэх тасралтгүй ялгаралд орсон байдаг. Литологийн найрлагын хувьд базальт, андезибазальт, андезит, андезит порфир, андезидацит, дацит, тэдгээрийн туф, лаав брекч, үе, мэшилээр метаграувакк, шохойн чулуу, конгломератаас тогтох ба Зэд бүрдлийн интрузив чулуулгаар зүсэгддэг. Харин насны асуудал тодорхой биш ч

Эгийн голын бүсийн Нармандалын дэд бүсийн меланжийн агломерат лаваас авсан бонинитийн дээжинд 542 сая жил (Томурхуу, 1999) гэж тогтоогдсоноор вулканоген зузаалгуудын үүслийн насыг өмнө үзэж байсны нэгэн адил эдиакари-түрүү кембрид хамааруулах боломжтой. Бадарынгол формацийн насны доод хязгаар нь бонинитийн насаар, дээд хязгаар нь 514.4-504 сая жилийн Зэд бүрдлийн насаар тус тус хязгаарлагдаж байна.

Бүргэлт формац. Бадарынгол формацийн вулканоген хурдсыг хучиж буй Бүргэлт формацийн хурдас нь Уйганы дэд бүсүүдийн хэмжээнд хоёр өөр найрлагаар илэрхийлэгдэнэ (Ильин, 1982; Хераскова и др., 1987; Томурхуу, 1999; Төмөртоогоо, 2002). Эхнийх нь Тавтын ордын баруун хойд хэсэгт хөгжсөн занар болон шохойн чулууны үеүүд агуулсан граувакк элсэн чулуу-алевролитын найрлагатай. Энэ

хурдсын дунд археоциатын шохойн чулууны олистолиттой олистостромьн горизонт зураглагддаг. Хоёрдахь нь Ариг голын дунд-доод цутгалд судалгааны талбайн гадна өргөн тархсан метатерриген зузаалаг юм. Энэ бүсийн хэмжээнд чулуулаг нь ногоон занар болон амфиболитын фацын метаморфизмд орсон байдгаараа бусад дэд бүсүүдээс ялгагдана. Бүргэлт формац нь Бадарынгол формац дээр нийцлэг байрлан түрүү палеозойн Зэд болон хожуу палеозой-түрүү мезозойн Сэлэнгэ бүрдлүүдээр түрэгддэг. Насыг өмнөх судлаачид зөвхөн Эг-Үүрийн бэлчирийн туффит-флишоид формацын шохойлог олистолитоос түрүү кембрийн археоциат олсон мэдээллээр Эгийн голын бүсийн ихэнх формацуудын насыг эдиакари-түрүү кембрийн түвшинд авч үзэж ирсэн. Сүүлд хийгдсэн судалгаагаар Эгийн голын баруун эрэг, Баянголын дэд бүсийн терриген-флиш формацын элсэн чулууны детритал цирконы насыг 547.8 ± 4.6 сая жил гэж (Хоролсүрэн *нар.*, 2018) тодорхойлсноор насыг нилээд нарийвчлан авч үзэх үндэслэл бүрджээ.

2.3.2. Гүний чулуулаг

Тавтын хүдрийн талбайд түрүү палеозойн Зэд, хожуу палеозойн Сэлэнгэ, хожуу палеозой-түрүү мезозой Орхон бүрдлүүд тархсан байдаг (Зураг 3). Тавтын орд нь ихэвчлэн түрүү палеозойн Зэд интрузив бүрдэлдагуулагддаг. Зэдинтрузив бүрдлийн чулуулгуудыг Монгол болон Оросын геологчид судалсан байдаг ба ялангуяа Оросын нутагт тархсан Зэд интрузив бүрдэлд 3 фаз ялгагддаг: габбродиорит, тоналит-диорит, тоналит-плагиогранитын (Gordienko *et al.*, 2006, 2007). Тавтын хүдрийн талбайн хойд, өмнөд, төв хэсэгт өргөн тархсан Зэд интрузив бүрдэл нь бусад бүрдлүүдээсээ илүү алт, сульфид агуулсан кварцын судлуудыг агуулдаг. Гурван фаз ялгасан. 1-р фаз нь габбро, габбродиорит, шүлтлэгдүү габбродиоритоос тогтох ба эдгээр нь төв хэсэгт тархалттай. Эдгээр чулуулгууд нь амфибол-биотит, ховроор амфибол-пироксен зэрэг олон тооны

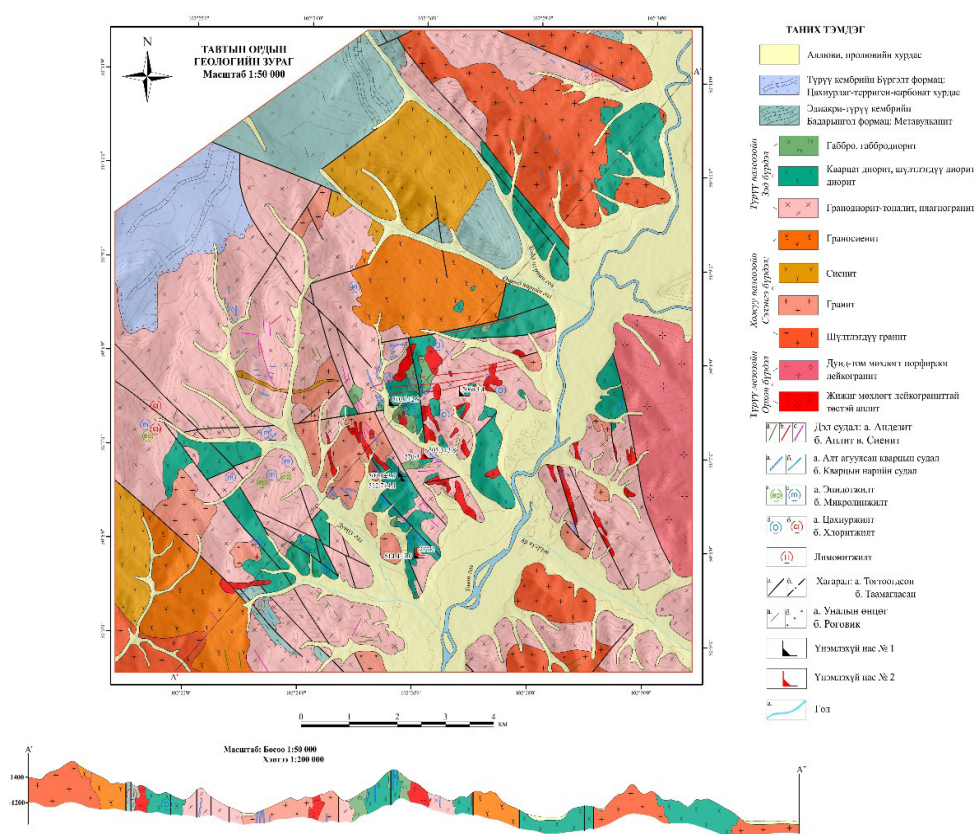
өнгөт эрдсүүдээс тогтдог учраас эдгээр нь хар саарал, ногоон саарал өнгөтэй, дунд зэргийн мөхлөгтэй, цул нягт текстуртэй байна. 2-р фаз нь монцодиорит, кварцат диорит, шүлтлэгдүү диорит ба диоритуудаас бүрдэх ба эдгээр нь аажим шилжилттэй. 2-р фазын чулуулгууд нь талбайн төв, баруун өмнөд, зүүн хойд хэсгээр тархдаг. Эдгээр чулуулгууд нь 20 км^2 талбай бүхий зөв бус, сунасан биетүүдийг үүсгэдэг. 3-р фазад дунд мөхлөгт биотит-эвэрхуурмагт гранодиоритууд ба плагиогранитууд давамгайлдаг ба эдгээр нь цайвар саарал сул гнейсжсэн чулуулгууд юм.

Сэлэнгэ интрузив бүрдлийн чулуулгууд Тавтын ордод нэлээд тархсан бөгөөд талбайн өмнөд хэсгийн ихэнх хэсэгт тархдаг; төв хэсэгт шток байдлаар мөн зүүн хойд хэсэгт шток байдлаар байдаг. Энэхүү бүрдэл нь олон төрлийн гранитоид чулуулгуудаас бүрддэг ба нийт 3 фазтай байдгаас 2 фазын чулуулгууд нь тус ордын талбайд тархсан. 1-р фаз нь граносиенит, сиенитээс тогтох ба голлон Нарийн голын сав газарт тархдаг бөгөөд шток тус бүр нь 6×3 км орчим талбайг эзэлдэг. Эдгээр хоёр шток нь хоорондоо маш ойрхон байрлана. Хойд шток нь том мөхлөгт сиенитүүдээс тогтдог. Өмнөд шток нь жижиг мөхлөгт граносиенитээс тогтох ба заримдаа тэдгээр нь порфирлог текстуртэй. Микроклинжилт болон пропилитжих хувирлууд өргөн хөгжсөн. 2-р фаз нь шүлтлэгдүү гранит ба гранитууд байна. Ихэнх нь янз бүрийн мөхлөгт биотит-эвэрхуурмагт гранит бөгөөд эдгээр нь порфирлог бүтэцтэй байдаг. Заримдаа, эдгээр нь гранит-порфир ба граносиенит-порфирт шилждэг. Шүлтлэгдүү гранитууд нь Ар Хүзүүт голын баруун хэсэгт, Нарийн голын зүүн хэсэгт тархдаг. Жижиг болон дунд мөхлөгт биотит-эвэрхуурмагт гранитаас тогтсон баруун хойш чиглэсэн том массив нь 5 км^2 талбайг эзэлдэг. Эдгээр чулуулгууд нь Дутуу голын зүүн талд тархсан байдаг. Түүнчлэн, Дутуу голын баруун талд, Ар Хүзүүт голын зүүн доод хэсэгт жижиг штокууд тархан байрладаг.

Түрүү мезозойн Орхон бүрдэл нь голлон

баруун хойшоо чиглэлийн хагарлуудаар хянагдсан салангид шток, заримдаа дэл судал хэлбэрийн жижиг биетүүдээс бүрдэнэ. Энэхүү бүрдэл нь хоёр фаз ба дэл судлуудаас тогтдог (Berzina & Sotnikov, 2008). 1-р фазад дунд-том мөхлөгт порфирлог лейкогранитууд давамгайлдаг ба эдгээр нь Тавтын хүдрийн талбайн зүүн захаар байрладаг. 2-р фаз нь жижиг мөхлөгт аплит маягийн лейкогранитуудаас

тогтох ба ордын төв хэсэгт тархсан. Талбайд Орхон бүрдлийн төгсгөлөөр үүссэн олон янз бүрийн найрлагатай дэл судлын чулуулаг өргөн тархсан. Дэл судлын чулуулгууд аплит, гранит порфир, сиенит-порфирит, риолит, микродиорит, кварцат монцодиорит-порфир, габбродиорит-порфир, диабаз, андезит-порфир, андезит-базальтын найрлагатай байна



Зураг 3. Тавтын ордын геологийн зураг

2.3.3. Ордын структур

Структурын хувьд Тавтын хүдрийн талбай нь хойд болон өмнөд гэсэн хоёр блокод хуваагдана. Эдгээр нь хоорондоо хагарлын системүүд болох баруун хойшоо өргөрөгийн болон уртрагийн дагуу чиглэсэн тектоник эвдрэлүүдээр хязгаарлагдах ба грабен маягийн үүсэлтэй шаантаг маягийн Бадарынгол формацийн метавулканитууд, Сэлэнгэ интрузив бүрдлийн сиенитээр

зүсэгдсэн байдаг.

Хойд блок нь 3х5 км-ийн хэмжээтэй, баруун өмнөд хэсгээр нь Нарийний тектоник эвдрэлийн бүсээр хязгаарлагдсан. Зүүн тал нь Эрэний хагарлаар Эрэнгийн голын хөндий хүрнэ. Хойд талаасаа өргөрөгийн дагуух чиглэлтэй бутралын бүсээр хязгаарлагдсан. Энэ блок нь энгийн тогтоцтой тектоник эвдрэлд бага орсон. Суллагдсан чулуулгууд нь гидротермаль

метасоматоз хувиралд бага хувирсан. Тэр хэмжээгээрээ хүдэржилт султай хэсэг юм. Энд 7, 9, 10-р судлын бүс тогтоогджээ (Зураг 4).

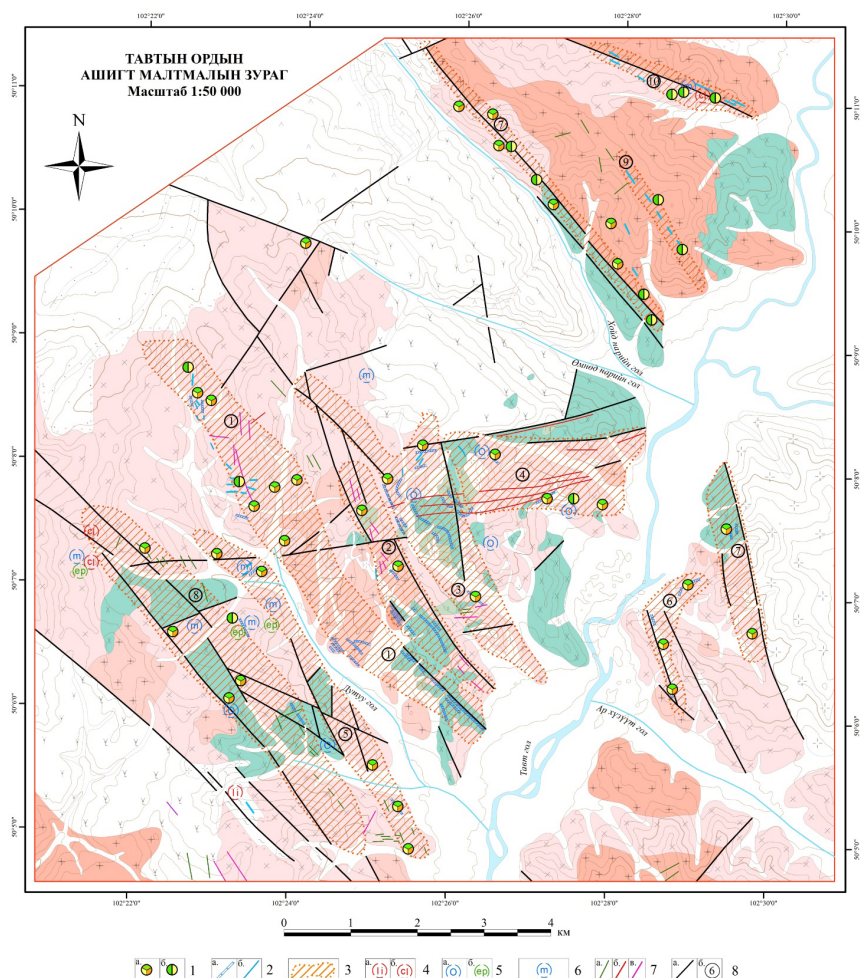
Өмнөд блок нь 8х10 км-ийн хэмжээтэй. Өмнөд ба баруун хэсэг нь баруун хойшоо сунасан ойролцоо тектоник эвдрэлүүдийн тасарлаар ялгагддаг ба эдгээр нь Эгийн голын хагаралд хамаарагдана. Блокын зүүн хэсгээр мезозойн гранитын массивүүд байдаг. Энэ заагт уртрагийн дагуу сунасан 7-р бүс оршдог. Хойд талаараа бараг өргөрөгийн дагуух Баруун Нарийны тектоник эвдрэлээр хязгаарлагдсан. Баруун хойд хил нь доод палеозойн настай интрузив болон гранодиорит ба тэдгээрийг агуулагч хувирмал эдиакари-кембрийн настай зузаалгийн хил заагтай давхцдаг. Энэ блокийн төв хэсэгт голомтот бүнхэр структурын цөм хэсэгт байрласан байх бөгөөд диаметр нь 3 км, Цагаан Шарын горхийн зүүн хажууг эзлэн байрладаг. Энэ хэсгийн структур агаарын зурагт тод харагдах бөгөөд усан сүлжээний зураг, кварцын судал, тектоникийн ан цав, дайкын элементүүдийн байршлаар батлагддаг. Эрэн-Дулаанхааны бүнхэр структурын хувьд 2-р зэргийн структур байдаг. Шугаман тасралтат структурын хувьд блокуудад нь баруун хойшоо ба бараг өргөрөгийн дагуух зүүн хойшоо чиглэсэн 2 үндсэн тектоник эвдрэлийн структур тод ялгагдана. Баруун хойшоо сунасан шигүү сүлжээ бүхий тасралтат эвдрэлүүд зонхилсон байх бөгөөд 5 м-ийн өргөнтэй тектоник сулралтын бүс үүсгэж эдгээр нь суурилаг найрлагатай дайкууд, хүдэр агуулсан кварцын судлууд ба тэдгээрийг дагалдсан хувирлуудаар хянагдана. Зүүн хойшоо бараг өргөрөгийн дагуух тасралтат эвдрэлийн зурваст трахириолит, граносиенит-порфиритын дайкууд байх бөгөөд Төв хэсэгт нь Орхон бүрдлийн гранитын штокууд байна. 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8-р судлын бүсүүд багтана (Зураг 4).

Тавтын хүдрийн талбайн нутаг дэвсгэрт эрлийн ажлын үр дүнд ойролцоогоор 100 орчим кварцын судал 22 км² талбайд илрүүлэгдсэнээс ихэнхи нь баруун хойшоо

чиглэлтэй 10 бүсэд хуваагдах ба тэдгээрээс 7 нь (1, 2, 3, 4, 5, 6, ба 8) өмнөд хэсэгт (блокод) байна. Харин 3 бүс нь хойд хэсэгт (7, 9, 10) оршино. Эдгээрээс хамгийн их нөөц бүхий бүсүүд нь (1, 2, 3) өмнөд блокын төв хэсэгт Цагаан Шарын голомтод төвөн (бүнхэр) структурын захаар байрлана. Бүсүүдийн урт 1.5-7 км, өргөн нь 100-500 м хүрнэ. Судлын урт 100 м-ээс 400-600 м, заримдаа 1800 м хүрэх бөгөөд зузаан нь ихэвчлэн 0.5-1.2 м-ээс хүртэл 4-8 м-ийн хооронд хэлбэлзэнэ. Ихэнхи судлуудын сунал 310°-320° бөгөөд эгц буюу баруун урагшаа 10°-70° уналтай байна.

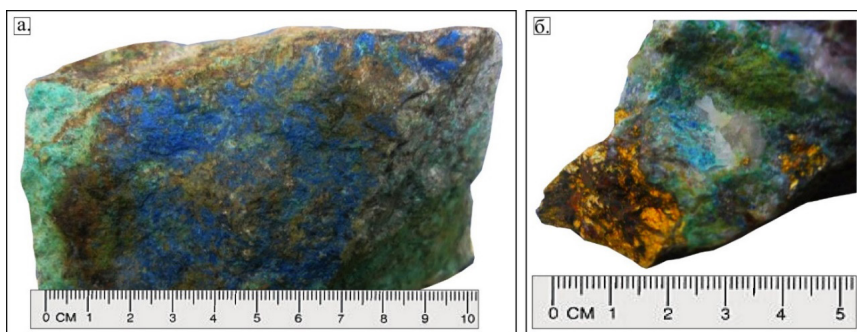
Дээр дурьдсан судлын 10 бүсээс 1, 2, 3, 4-р бүсүүдийг уулын малталтаар, үүнээс 1, 3-р бүсүүдийг (Зураг 5-6) уулын өрөмдлөгийн ажлаар нарийвчлан судалсан бөгөөд бусад бүсүүдийг геологийн зураглалын маршрутаар гадаргуу дээр нь мөрдөн судалсан байна. Үүнээс харьцангуй сайн судлагдсан нь 1 ба 3-р бүсүүд юм. Эдгээр бүс нь өөртөө 1-20 кварцын судал агуулах ба судал бүрийн урт 1.8 км урт, 18 м хүртэл зузаантай. Хүдэржилт нь ихэвчлэн алт, мөнгө байх ба 5% хүрэхгүй сульфид агуулна.

Судлын 3-р бүсийн хүдэр агуулсан кварцын судлууд болон хувирсан чулуулаг алтны дундаж агуулгыг бодож тооцоолсон. Кварцын судал дахь дундаж агуулгууд нь 6.3 г/тн Au, 29.4 г/тн Ag, 1.3 % Cu ба хувирсан чулуулаг дахь дундаж агуулга нь 0.7 г/тн Au, 8.5 г/тн Ag, 0.94% Cu. Эдгээрээс алт агуулсан голлох кварцын судлууд нь хүдрийн талбайн төв хэсэгт, Цагаан Шарын багахан хэмжээний голомтот-цагирган бүтцийн дотор, судлын 1, 2, 3 болон 4-р бүсүүд оршдог. Энэ нь Зэд интрузив бүрдлийн доороос Сэлэнгийн интрузив бүрдэл түрж үүссэнийг гэрчилнэ. Мөн ордын талбайн хэмжээнд Зэд болон Сэлэнгэ интрузив бүрдлүүдийн давхцмал бус хэсгүүдэд хүдэржилт агуулсан кварцын судлууд үүсээгүй.

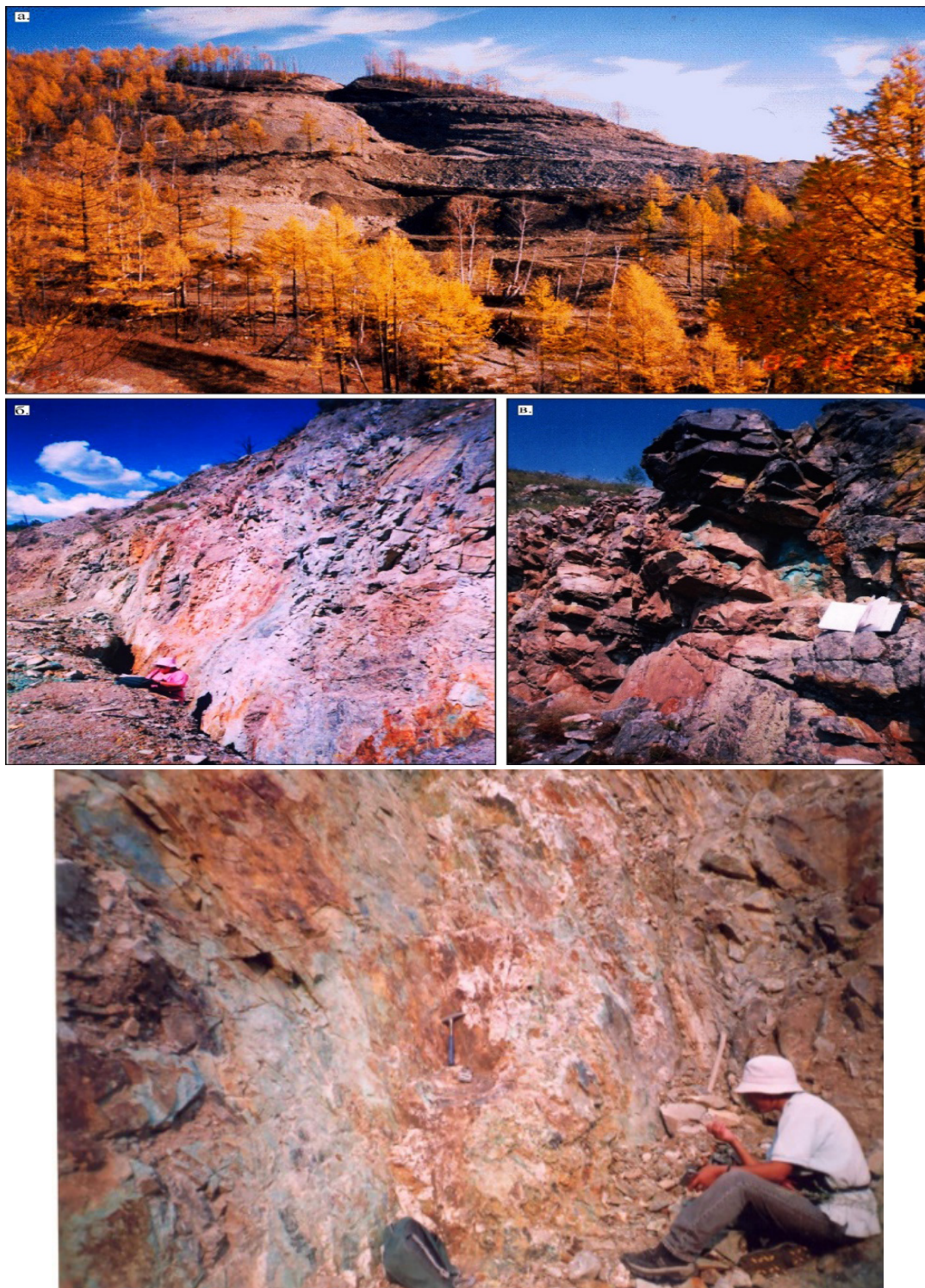


1. Илрэл: а. алт-монго-эс, б. эс-монго; 2. а. алт агуулсан кварцын судал, б. нарийн кварцын судал; 3. Судлын бүс;
4. Хувирал: а. лимонитжилт б. хлоритжилт; 5. а. цахиуржилт, б. эпидотжилт; 6. Микроклинжилт;
7. Дайк а. андезит, б. аллит, в. сениит; 8. а. хагарал, б. судлын бүсийн дугаар

**Зураг 4. Тавтын хүдрийн талбайн ашигт малтмалын зураг
(Цэнд-Аюуш и Булдаков, 1998)**



Зураг 5. Тавтын ордын хүдэр агуулсан 3А бүсийн хүдэржилтийн дээж. а-малахит, азуриттай кварцын судал, б-халькопирит, малахит, азуриттай кварцын судал



Зураг 6. Тавтын орд: а- хүдэр агуулсан 1Б бүс, б-малахитжсан кварцын судлын гарш, в- хүдэр агуулсан 1А бүс, г- хүдэр агуулсан 3А бүс.

3. СУДАЛГААНЫ АРГАЧЛАА

3.1. Дээжийн тодорхойлолт

Тавтын ордын судлуудын хүдрийн эрдэслэг бүрэлдэхүүн нэлээд нийлмэл байдаг. Хүдрийн эрдсүүд нь халькопирит, борнит, алт, теннантит, халькозин, ковеллин, сарнисан байдлаар пирит, галенит, сфалерит, мөнгө, гёссит, зэс, ховроор аргентит, пирротиноос тогтдог (Оюунгэрэл, 2002). Хүдрийн бус гол эрдэс голлон кварц бөгөөд хээрийн жонш, мусковит, серицит, каолинит (2-7%), амфибол, пироксен, хлорит, биотит, тальк (1.5-5.2%), карбонатууд (кальцит, анкерит 1.0-2.5%), багаар апатит, циркон, турмалин, рутил байдаг. Тавтын ордын хүдэр агуулсан уусмалын эх үүсвэр, хүдэржилтийн орчин нөхцөл, гарал үүслийг нь тодорхойлох зорилгоор голлон 1 болон 3-р бүсийн кварцын судлуудын кварцын 13 дээжинд флюид ормын судалгаануудыг хийсэн. Тавтын ордоод гурван генерацийн кварц ялгагдахаас алт агуулсан 2-р генерацийн кварцын дээжүүд дээр флюид ормын судалгааг хийсэн. Кварцын судлуудаас халькопирит, пирит, ковеллин болон борнит зэрэг сульфидийн бүлгийн эрдсүүдийг хүхрийн изотопын судалгаанд зориулан түүж авсан.

3.2. Флюид ормын судалгаа

Дээжүүдийг гадаргуугийн түвшин болон ил уурхайгаас цуглуулсан тул дээж дэх босоо хэлбэлзлийг нарийвчлан авч үзээгүй болно. Тус судалгааг Сөүлийн Үндэсний Их Сургуулийн Ашигт малтмалын лабораторид дээжийг бэлтгэн, хоёр талаас нь өнгөлсөн (зузаан нь <1 мм) пластинкийг бэлтгэн, стандарт микроскопоор судалсан. Флюид ормын микротермометрийн судалгааг нимгэн пластинк ялтас дээр USGS хийн урсгалтай халаалт, хөлдөлтийн систем бүхий багажийг ашиглан хийсэн (Poty *et al.*, 1976). Linkam TH-600RMS флюид ормын судалгааны комплекс багажаар флюид ормыг 500х дахин өсгөж, 500°C хүртэл халааж гомогенжүүлэх аргаар судалгааг явуулсан. Микротермометрийн

хэмжилтийг хайлах цэгийн стандартаар хийсэн бөгөөд температурыг тохируулахад ашигласан. Хөлдөөх, халаах туршилтанд хэмжилтийн алдаа нь 0.2 °C ба 1 °C байна. Давсжилтын өгөгдлийг H₂O-NaCl систем дэх хөлдөлтийн цэгийн бууралтаас, CO₂-ийн агууламжгүй, флюид ормын хувьд тооцоолсон (Potter *et al.*, 1978).

3.3. Хүхрийн изотопын судалгаа

Энэ судалгаан дахь найман сульфидуудын хүхрийн изотопыг элементийн анализатор Isoprime-EA (Euro EA)-тэй үргэлжилсэн урсгалын горимоор нь холбосон, тогтвортой изотопын харьцааны масс спектрометр (Isoprime, OPTIMA EA software version 1.67; GV, Manchester, UK)-ээр хүхрийнх нь изотопоор хэмжиж авсан. Элементийн анализатор 0.8 м PTFE GC багана (GV)-нд таардаг бөгөөд 1030°C хүртэл халаадаг. Давхар оролт бүхий изотопын-харьцааны масс спектрометр дээр хүхрийн изотопыг шинжилдэг уламжлалт аргад хүхрийн шинжилгээний циклийн дараагаар SO₂ хийнээс бий болж болох бүртгэлийн нөлөөг аливаа бусад хийн төрөл зүйлийн шинжилгээг хийхийн өмнө арилгах үүднээс уг масс спектрометрийг халаах шаардлагатай. Үргэлжилсэн урсгалын аргад энэ бэрхшээл байдаггүй бөгөөд энэ нь мөн хүхрийн изотопын шинжилгээний горимын өндөр хий-дамжуулалтийг боломжтой болгодог. Хүхрийн изотопын утгыг уламжлалт дельта тэмдэглэгээ ашиглаж тайлагнадаг:

$$\delta^xS = \left[\frac{{}^xR_{\text{дээж}}}{{}^xR_{\text{стандарт}}} - 1 \right] \times 1000 \text{ (‰)} \quad (1)$$

Үүнд: ^xR нь изотопын харьцаа, тухайн дээж болон стандарт бодисын ^xS/³²S (^x = 33 ба 34) байна. Уламжлал ёсоор хүхрийн изотопын өгөгдөхүүнийг of IAEA S-1 (хиймэл Ag₂S)-ийн ^δ³⁴S-аар тодорхойлогдсон, Вена-Канон Дайэбло Тройлит (Vienna-Canon Diablo Troilite VCDT)-ийн хэмжих хуваарьт харьцуулдаг (Coplen & Krouse, 1998). Энэ судалгаанд олон-хүхрийн изотопын VCDT

хэмжих хуваарийг $\delta^{33}\text{S}$, and $\delta^{34}\text{S}$ ийн хувьд дурдсан дарааллаар -0.07, -0.020 байдаг, IAEA S-1-аар тодорхойлдог. Эдгээр утгыг эндээс болон өмнө судалгаа (Bublys et al., 2004)-наас хэмжиж авсан CDT болон IAEA S-1 ийн дундаж утгаас гарган авдаг. Бид том дельта тэмдэглэгээ (Δ)-г лавлагаа шугамаас хазайх $\delta^{33}\text{S}$ -ийн хазайлт байдлаар тодорхойлсон (Hulston & Thode, 1965; Gao & Thiemens, 1991):

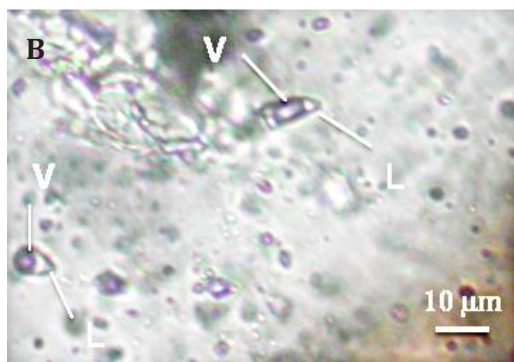
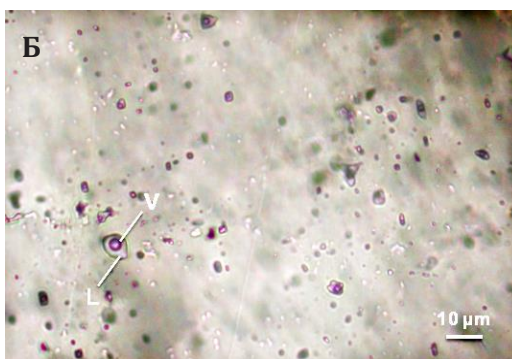
$$\Delta^{33}\text{S} = \delta^{33}\text{S} - 0.515 \delta^{34}\text{S} \quad (2)$$

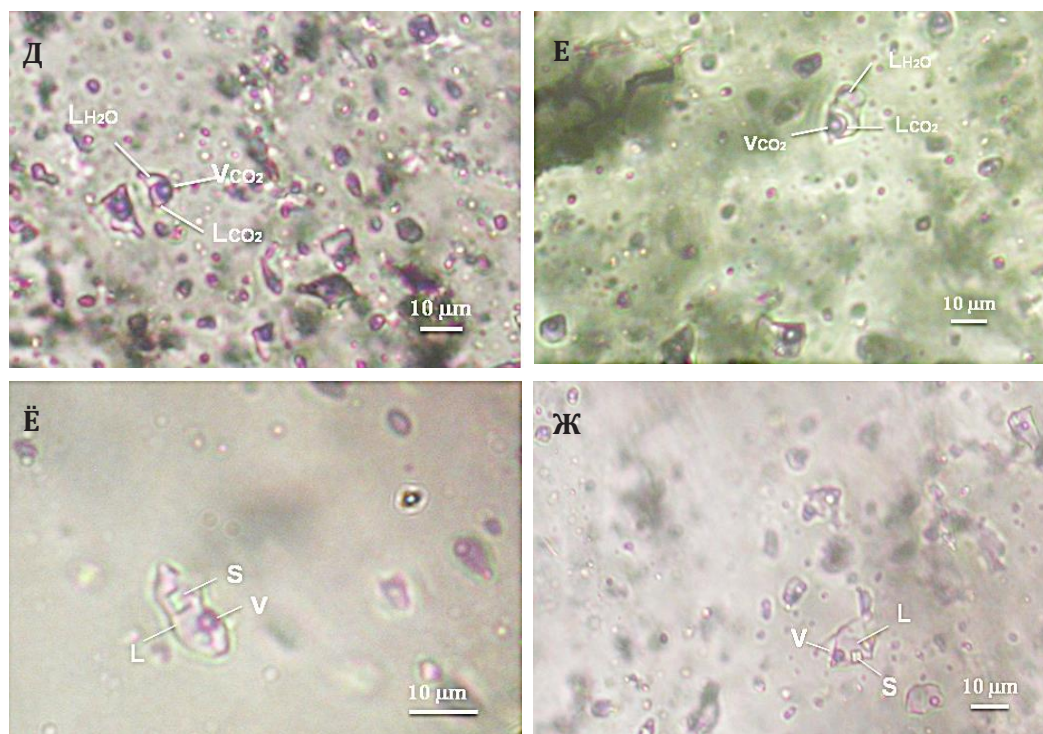
4. ҮР ДҮН

4.1. Флюид ормын судалгааны үр дүн

Алтны хүдэржилт бүхий кварцын судлууд дахь флюид ормын судалгааг хийж үзэхэд флюид ормууд нь <18 μm хэмжээтэй, ихэвчлэн <5 μm -ээс доош хэмжээтэй бөгөөд дугуй, эллипс, зурвас, гурвалжин, жигд бус хэлбэртэй байдаг. Тавтын алтны ордод дөрвөн төрлийн флюид ормууд тогтоогдсон: Хий-шингэний хоёр фазтай ормуудын (Зураг 7А-Б: дээж 42-10, дээж

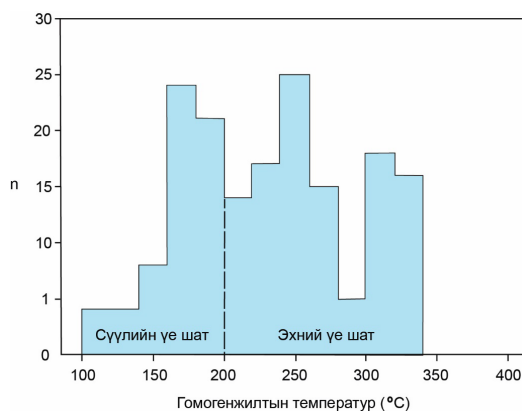
3а-23) шингэн фазын усан уусмал, хийн фаз нь өрөөний температурт харагддаг бөгөөд хийн фаз нь эзэлхүүнээрээ 50%-иас бага байдаг. Хийгээр баян шингэн-хийн 2 фазтай ормууд (Зураг В-Г), Хийн CO_2 ба шингэн CO_2 агуулсан (Зураг 7Д-Е: дээж 3а-8, дээж 6-6) ормууд тохиолдоно. Түүнчлэн хий-шингэн-хатуу гурван фазтай ормууд нэлээд тархсан (Зураг 7Ё-Ж: дээж 3а-23). Тавтын ордын кварцын дээжүүдэд дөрвөн төрлийн флюид ормуудын дундаас хий-шингэний хоёр фазтай ором давамгайлж, хийн CO_2 ба шингэн CO_2 агуулсан ором нь ховор байдаг. Ялангуяа дээжинд хийн CO_2 ба шингэн CO_2 агуулсан ормоос бусад гурван төрлийн флюид ормууд агуулагддаг. Микротермометрийн судалгааг Fluid Inc. USGS төрлийн хийн урсгалтай халаах, хөлдөөх систем ашиглан хийсэн. Тавтын алтны ордоос 1, 3-р бүсийн кварцын дээжний флюид ормуудад (n-хэмжилтийн тоо = 171) халаах үе шатны урвал явуулахад, 102.1 $^{\circ}\text{C}$ -ээс 332 $^{\circ}\text{C}$ хүртэл гомогенжиж байгааг судалсан (Зураг 8, 9).





Зураг 7. Тавт ордын кварцын дээж дэх флюид ормуудын төрлүүд: А-Б- хий-шингэний хоёр фазтай ормууд (дээж 42-10; дээж 3а-23), В-Г- хийгээр баян ормууд буюу шингэн-хийн (дээж 3а-29; дээж 3а-23), Д-Е- хийн CO_2 ба шингэн CO_2 агуулсан ормууд (дээж 3а-8; дээж 6-6), Е-Ж - хий-шингэн-хатуу гурван фазтай ормууд (дээж 3а-23).

Гомогенжилтын температурын өгөгдлийн дунд 3-р бүсийн кварцын судлууд нь 162.4 °C -ээс 332 °C хүртэл байна, 1-р бүсийн кварцын судлууд нь 180.6 °C -ээс 270.4 °C хүртэл байна (Зураг 8, 9). 8-р зурагт кварцын судлууд гомогенжилтын температур хоёр үе шаттай байгааг харуулж байна. Кварцын судлын эхний үе шат ойролцоогоор 200 °C-ээс 332 °C, сүүлийн үе шат нь 200 °C-ээс доош байна.



Зураг 8. Тавтын ордын кварцын судлууд дахь флюид ормын гомогенжилтын температурын гистограм

Эдгээр үр дүнгийн дагуу Тавтын алтны ордын 50 флюид ормын давсжилт 6.5 жин.% ~ 22.0 жин.% ба үе шат, төрлөөр нь нэгтгэн харуулав (Зураг 9). Ялангуяа,

тэдгээрийг 1 ба 3-р бүсүүд тус бүрээр авч үзвэл (Зураг 9):

-1-р хүдрийн бүсийн кварцын судлын дээжийн хувьд 8.9 жин.% ~ 16.2 жин.%,

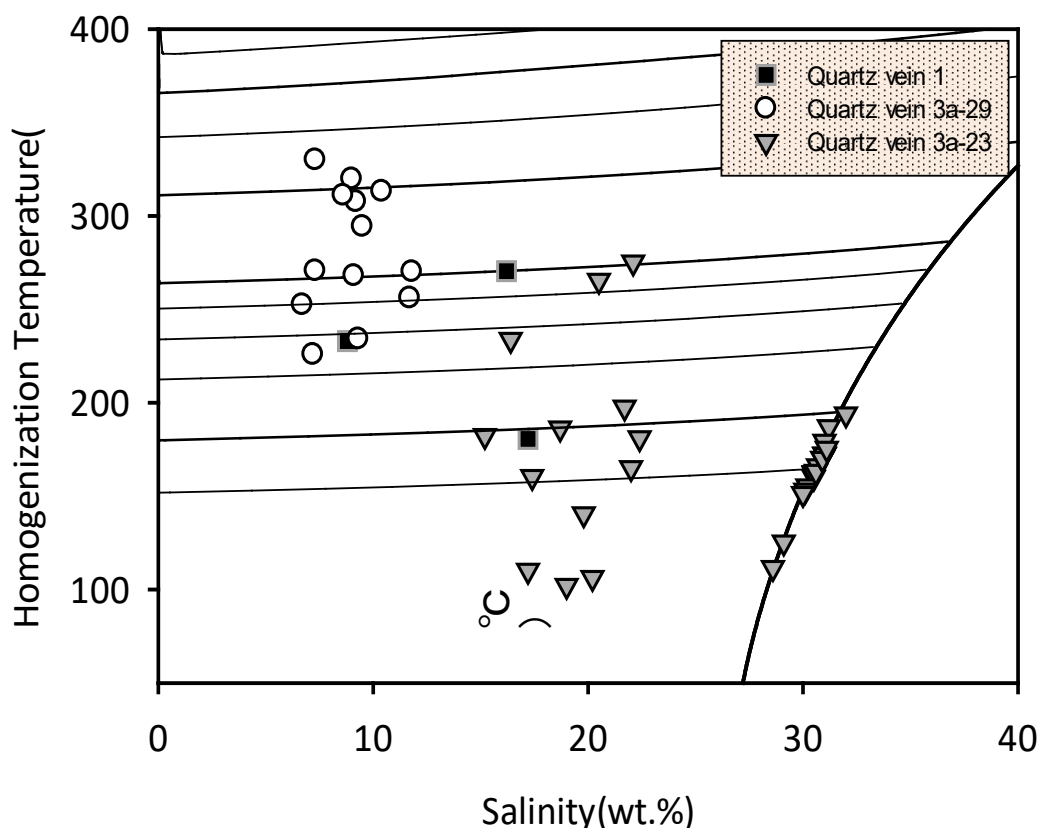
-3-р хүдрийн бүсийн кварцын судлын дээжийн хувьд 6.5 жин.% ~ 22 жин.%,

3-р хүдрийн бүсийн кварцын судлын 3а-23 дээж бүхий кварцын судалд 4-р төрлийн хий-шингэн-хатуу 3 фазтай флюид ормууд ихээр агуулагддаг ба давсжилт нь 27.2 жин.% ~ 32.0 жин.% хүрдэг бага температуртай ормуудыг энэ зурагт оруулсан болно (Зураг 9).

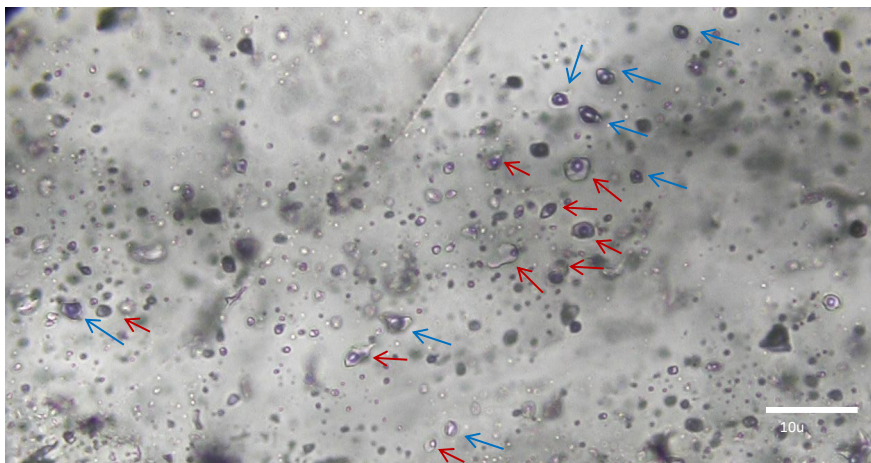
3а-23 дээжинд алт болон сульфидууд нэлээд

байдаг бөгөөд шингэн-хийн, хий-шингэний ормуудаар баян ба энэ нь бушлалтын процессын нотолгоо болдог (Зураг 10), мөн хий-шингэн-хатуу бүхий гурван фаз бүхий флюид ормууд агуулагддаг. Кварц дахь хий-шингэн, шингэн-хийн ормууд зэрэгцэн оршиж байгаа нь кварцын судлууд дахь флюид фазуудын ялгаралтыг шууд нотолж өгдөг.

Давсжилт болон гомогенжилтийн температурын харьцаан дахь даралтын диаграм (зураг 9)-аас үзэхэд мөн бушлалт нь сульфид ба алтны үүслийг бий болгодог нь харагдана.



Зураг 9. Тавтын ордын кварцын судлууд дахь флюид ормын гомогенжилтийн температурын харьцаан дахь даралтын диаграм



Зураг 10: Тавтын ордын кварцын судлууд дахь шингэн-хийн төрөл (цэнхэр сум) ба хий-шингэний флюид ормын төрлүүдээс (улаан сум) бүрдсэн буцлалтын бөөгнөрөл

9-р зураг дээр гурван дээжин дэх флюид ормуудыг харуулсан ($n = 50$). Буцлалтын үл мөр нь 1-р кварцын судлын дээж, кварцын судлын 3а-29 дээжээс олдсонгүй, эдгээр нь кварцын судлын 3а-23 дээжийг бодвол бага давсжилттай ба өндөр температурт

дүрслэгдсэн байна. Үр дүнгээс харахад харьцангуй өндөр давсжилттай ором нь эрдэсжилтийн процесст сүүлийн шатанд хамаарагдах ба үүнийг давсны хүчлийн уусмалын рН-ийн утгыг тооцоололтын хүснэгт 3-аас харж баталж болно.

Хүснэгт 3. Давсны хүчлийн уусмалын рН-ийн утгыг тооцоололт

Ордууд	рН	Жин.% NaCl
Тавтын орд рН=4.05-3.6 6.5~22.0 жин.% Na	2.50	0.01150
	3.00	0.003647
	3.50	0.001150
	4.00	0.0003647
	4.50	0.0001150
	5.00	0.00003647
	5.50	0.00001150

4.2. Хүхрийн изотопын судалгааны үр дүн
Тавт алтны ордын сульфидуудаас дангаар салгаж түүсэн сульфидийн эрдсүүдээс гаргаж авсан $\delta^{34}\text{S}$ -ын утга -8.61‰-аас

-3.60‰ ын хооронд, харин $\delta^{33}\text{S}$ ын утга нь -4.39‰-аас -1.70‰ хооронд, мөн $\Delta^{33}\text{S}$ ын хязгаар нь -0.17-аас +0.54 ын хооронд хэлбэлзэж байсан (хүснэгт 4).

Хүснэгт 4. Тавтын ордын сульфидийн эрдсүүдийн хүхрийн изотопын утгууд (‰)

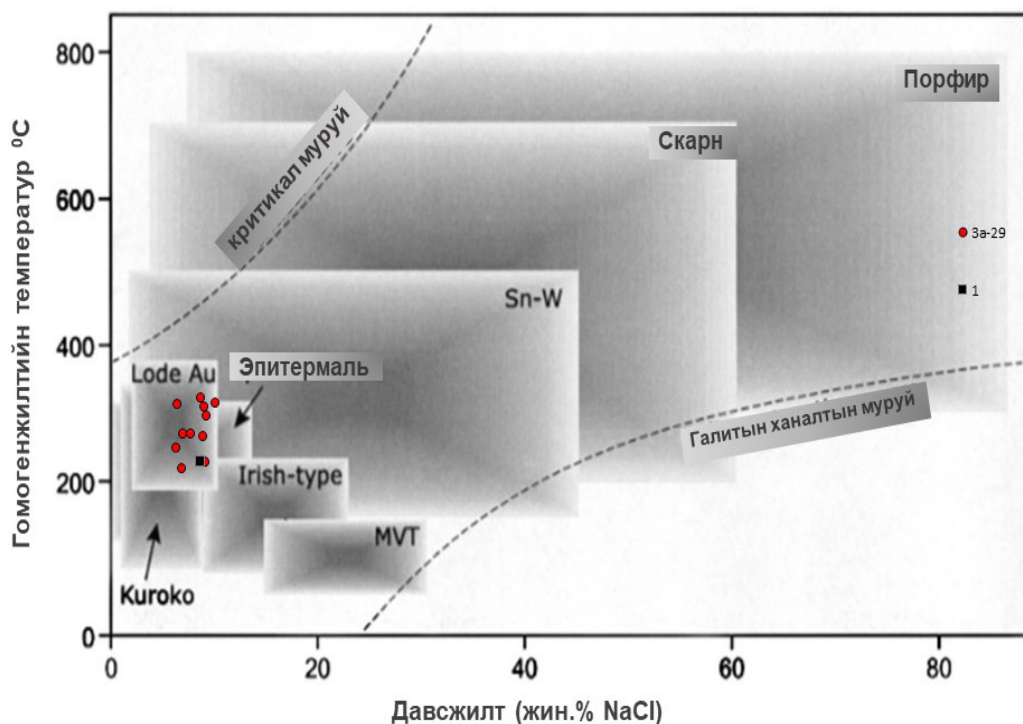
Дээж	Эрдэс	$\delta^{33}\text{S}$	$\delta^{34}\text{S}$	$\Delta^{33}\text{S}$	$\sigma(\delta^{33}\text{S})$	$\sigma(\delta^{34}\text{S})$	raw $\delta^{33}\text{S}$	raw $\delta^{34}\text{S}$
3а-4	пирит	-2.61	-5.19	0.02			-6.30	-12.28
2-23	халькопирит	-1.70	-3.60	-0.17	0.07	0.23	-5.11	-9.58
1-20-а	борнит	-4.29	-8.47	0.13	0.05	0.03	-7.96	-15.72
1-20-б	халькопирит	-3.93	-8.38	0.14	0.25	0.33	-7.26	-14.37
1-20-с	ковеллин	-4.39	-8.61	0.00	0.04	0.35	-8.09	-15.70
1-23	халькопирит	-2.43	-5.23	0.54	0.21	0.32	-5.70	-11.16
1-29-а	борнит	-2.78	-5.84	0.23			-6.47	-13.01
1-29-б	халькопирит	-2.98	-5.96	-0.13			-6.31	-12.00

5. ХЭЛЭЛЦҮҮЛЭГ

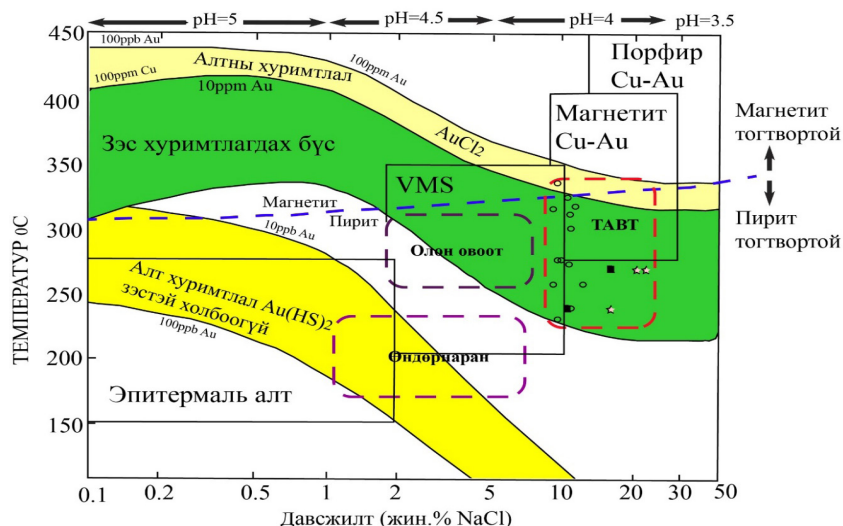
5.1. Флюид ором

Алтны хүдэржилт бүхий кварцын судлууд дахь флюид ормын судалгааг хийж үзэхэд флюид ормууд $<18\mu\text{м}$ -ээс доош хэмжээтэй. Тавтын алтны ордод дөрвөн төрлийн флюид ормууд тогтоогдсон: хий-шингэн хоёр фазтай ормууд, хийгээр баян шингэн-хийн 2 фазтай ором, хийн CO_2 ба шингэн CO_2 агуулсан ормууд, хий-шингэн-хатуу (галит) гурван фазтай ором юм. Эдгээрээс хий-шингэн хоёр фазтай ормууд давамгайлж, хийн CO_2 ба шингэн CO_2 агуулсан ормууд нь ховор байдаг. Ашигт малтмалын ордууд, ялангуяа гидротермаль хүдрийн ордууд флюид ормынхоо онцлогоор, хүдэр агуулагч уусмал өөр хоорондоо ялгаатай байдаг талаар Roedder (1984), Wilkinson

(2001) нар бүтээлдээ дурьдсан байдаг. Тавтын ордод хийсэн ормын судалгааг Монгол орны ороген алтны ордууд болох Зуун мод-Бороогийн хүдрийн дүүргийн зарим ордууд болон Өмнөд бүсийн Өлзийтийн алтны металлогенийн бүсэд байрлах Олон Овоотын алтны алтны бүлэг ордууд, Өндөрнараран алтны ордуудад хийгдсэн хүдэр үүсгэгч уусмал дахь давсжилт ба температурын харьцааны диаграммууд дээр (Huston & Large, 1989; Davidson & Large, 1994; Wilkinson, 2001) буулган авч үзэхэд Тавтын алтны орд нь үндсэн алтны ордын (Lode Au) талбайд байрлана (Зураг 11). Зураг 12-аас үзэхэд Тавтын орд зэс хуримтлагдах бүсэд голлон пирит тогтвортой байх бүсийн хэмжээнд уусмалын $\text{pH}=4.05\text{--}3.6$ хэсэгт хамаарагдаж байна.



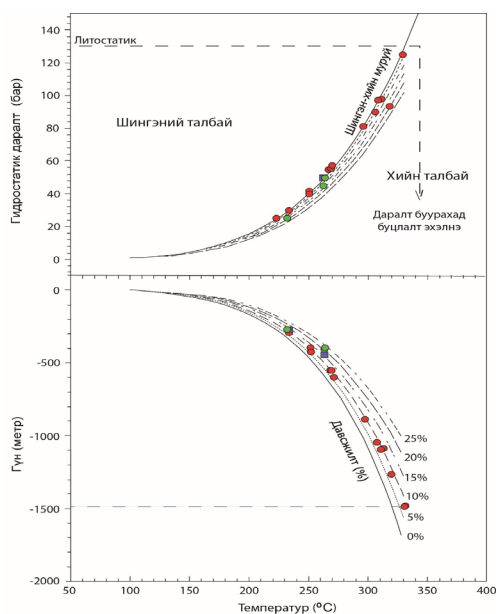
Зураг 11. Тавтын ордын кварцын судлууд дахь флюид ормын гомогенжилтийн температур болон давсжилтын диаграмм (Wilkinson, 2001)



Зураг 12. Тавтын ордын кварцын судлууд дахь флюид ормын температур болон давсжилтийн диаграмм, Davidson & Large (1994)

Гидротермаль судлын буюу нээлттэй системийн ормын судалгаанд нийтлэг ашиглагддаг даралт-температур-гүнг харуулсан *Gulcan et al.* (2014) нарын диаграммын тусламжтайгаар 1.5 км-ийн

гүнд үүссэн орд болохыг тогтоолоо (Зураг 13). Энэ диаграммд давсжилт нь 25 wt.% NaCl хүртлэх, 400°C хүртлэх, 150 бар даралт, 0-ээс 1.8 км гүнд орших ордуудад хэрэглэх боломжтой.



Зураг 13. Тавтын ордын хүдрийн судлуудын даралт-температур-гүнг харуулсан диаграмм (*Gulcan et al.*, 2014).

Флюид ормын шинжилгээний судалгаанаас үзэхэд Тавтын ордод хийн CO_2 ба шингэн CO_2 агуулсан ормууд нь ховор байгаа нь Монголын ороген алтны ордуудаас ялгаатай болох нь харагдаж байна (Хүснэгт 5). Мөн давсжилт нь харьцангуй өндөр байгааг зааж байна. Тавтын орд зэс хуримтлагдах бүсийн пирит тогтвортой байх хязгаарт бүсийн хэмжээнд, уусмалын $\text{pH}=4.05-3.6$ хооронд байгаа нь бусдаас илүү хүчиллэг уусмалтай холбоотой үүссэнийг харуулж байна. Тавтын орд хүдрийн судлууд нь даралт-температур-гүнг харуулсан диаграммын тусламжтайгаар болон интрузивтэй холбоотой алтны ордууд, ороген алтны ордуудын онолын мэдээллүүд, загваруудтай харьцуулан үзэж 1.5 км-ээс бага гүнд үүссэн орд болохыг тогтоолоо.

Хүснэгт 5. Монгол орны сайн судлагдсан алтны ордуудын ормын судалгааны харьцуулалт

Орд	Ормын төрлүүд	Гомогенжилтийн температур	Давсжилт жин.%	Ашигласан материал
Бороо №6	(I) CO ₂ -хийгээр баян ором, (II) хий-шингэний ором	(I) 317-362°C; (II) 237-305°C	(I) 3-6 жин.%, (II) 3.6-5.4 жин.%	Дэжидмаа, 2012; Khishgee, 2015; Тамир, 2019
Олон овоот	CO ₂ агуулсан ором, хий-шингэн хоёр фазтай ормууд pH=4.5-4.15	280-290°C, 300-310°C;	2-7.8 жин.%	Оюунгэрэл нар, 2018, 2019),
Өндөр наран	Хий-шингэний хоёр фазтай ормууд pH=4.7-4.12	335-308°C, 231-190°C 187-183°C	1.7-6.7 жин.%	Тамир, 2019
Гацуурт	(I) CO ₂ -хийгээр баян ором, (II) хий-шингэний ором (III) хий-шингэн-хатуу (галит) гурван фазтай ором	Үндсэн бүс: I -194-327°C , II- 194 -282°C, III – 208- 240°C; Төв бүс: I- 289-355°C, II-254-292°C	7.6 жин.%	Makoto, 2012; Khishgee, 2015; Yeongmin et al, 2020
Тавт	Хий-шингэний хоёр фазтай ормууд, хийгээр баян шингэн-хийн хоёр фазтай ормууд, хий-шингэн-хатуу (галит) гурван фазтай ором зэрэг ормууд давамгайлж, харин CO ₂ агуулсан ормууд ховор юм. pH=4.05-3.6 буюу хүчиллэг орчин болно.	200-332°C	Өндөр давсжилттай 6.5~22.0 жин.%;	Тус судалгаагаар

5.2. Хүхрийн изотоп

Тавтын орд дахь $\delta^{34}\text{S}$ ын утгын хэлбэлзэх хязгаар мантийн гүн үүсгүүрээс авсануудаас арай бага байдаг боловч энэ нь гранитоид чулуулгийн $\delta^{34}\text{S}$ ийн утгын хязгаарт сайн таардаг нь тунамал-гаралтай хүхрийн нэгдлийг илэрхийлдэг. Сульфидийн эрдсүүдийн $\delta^{34}\text{S}$ -ийн утга гидротермаль ордуудад нэлээд судлагдсан байдаг. Дэлхий даяар зарим ордод ялангуяа Ёунгбогари уурхайн (So, 2002) изотопын $\delta^{34}\text{S}$ ийн утга (-2.9 -аас -5.1‰) бидний судалгаатай тун ойрхон байсан. Хамгийн чухал зүйл нь $\delta^{34}\text{S}$ -ын утга илүү гранитоид чулуулгийнхтай таардаг.

Хүхэр нь магм, тунамал, хувирмал чулуулагтай холбоотой хүдрийн ордод сульфид байдлаар ангижирсан хэлбэртэй оршдог ажээ. Энэ шалтгааны улмаас S-ийн изотопын найрлага ялангуяа сульфидийн хүдрийн ордын судалгаанд маш хэрэгтэй

байдаг.

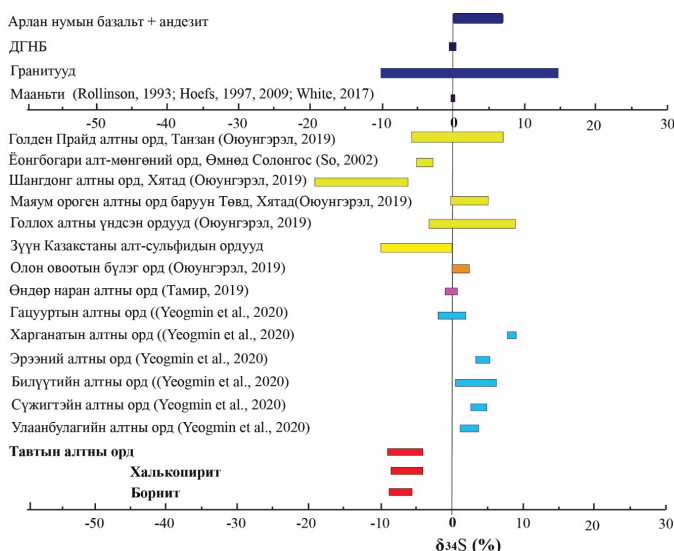
Noef (2007) ба White (2017) Европын гранитийн $\delta^{34}\text{S}$ -ийн утга +9‰ to -4‰ гэсэн хэлбэлзэх хязгаартай гэсэн мэдээллийг авч үзсэн байдаг. $\delta^{34}\text{S}$ -ийн утгын +9‰ to -11‰ гэсэн бүр илүү өргөн хязгаарыг Япон дахь гранитоид чулуулагт байгааг Sasaki & Ishihara (1979) нар тайлагнажээ. Гранитоид чулуулаг дахь S-ийн $\delta^{34}\text{S}$ -ийн утгын өргөн хязгаар магадгүй тунамал чулуулгаас гарсан фракцлагдсан S-ийн нэгдэлтэй хамаатуулж болох юм. Гранитоид найрлагатай магм нь $\delta^{34}\text{S}$ -ийн эерэг утгатай байж болно. Учир нь тэдгээр нь субдукцийн бүсэд тунамал чулуулгийн хайлах явц эсвэл ассимиляцын үеэр далайн сульфатаас нэмэрлэгдсэн S-ийг агуулдаг байна. Нөгөө талаас ийм магм хэрэв тэдгээр нь бактерийн фракцлагдах явцаар ^{32}S -аар өмнө нь баяжсан S-ийг агуулсан тунамал эсвэл хувирмал чулуулаг хайлах

явцаар үүссэн бол $\delta^{34}\text{S}$ -ийн сөрөг утгатай байж болно (Cheney & Lange, 1976; Sakai et al., 1978, 1982; Mainwaring & Naldrett, 1977). Тавтын алтны орд дахь $\delta^{34}\text{S}$ ийн утга (-8.6‰ ~ -3.6‰) гранитоид чулуулгийн хязгаар дотор байна (Зураг 14).

Хүхрийн изотопын массаас-хамааралгүй фракцлагдах явц (MIF) 2.3 тэрбум жилээс ч хөгшин-настай геологийн дээжнээс олдог байна. Энэ нь бага-хүчилтөрөгчийн бууралттай агаар мандал дахь хүхрийн хийн нэгдлийн фотохимийн урвалаар үүссэн байж болно (Ueno, 2009). Агаармандлын хүчилтөрөгчийн өсөлт (O_2 and O_3)-өөс агаармандал дахь хүхрийн нэгдлийг сульфат болгож исэлдүүлсэн нь хоёр изотопын тунгаагуур изотопын фракцалтын хуримтлал явагдахаас сэргийлжээ. Цаашилбал нарны туяаны UV хэт ягаан туяаг халхалж, болох ёстой изотопын гажил үүсгэх фотохимийн үйл явцыг саатуулсан байна. Үүнээс ялгаатай нь буурч байгаа нөхцөлд изотопын хувьд хоёр тусдаа байх, дан хүхэр болон сульфат гэсэн хүхрийн төрөл зүйл фотохимийн явцаар бий болж, газрын гадарга дээр тунадасжижээ. Тэнд MIF-ийн шинж тэмдэг нь тунамал-хэмхдэст хадгалагдаж үлдэх боломжтой байдаг (Ono, 2003; Pavlov

& Kasting, 2002; Zahnle et al., 2007). Геологийн дээжин дэх хүхрийн MIF ийг хүчилтөрөгчгүй агаармандлыг илэрхийлэгч гэж үздэг. Гэвч Тавт алтны ордоос авсан сульфидийн $\Delta^{33}\text{S}$ -ын утга '0' орчимд байдаг (хүснэгт 4). Энэ нь Тавт алтны орд үүсэхтэй холбоотой хүхэр Архейн насны хүхрээс дахин ашиглагдаагүй болохыг илэрхийлдэг.

Тавтын ордод хийсэн хүхрийн изотопын утгыг хүхрийн изотопын судалгаа харьцангуй сайн хийгдсэн Монгол орны ороген алтны ордууд болох Зуун модны хүдрийн дүүргийн зарим ордууд болон Өмнөд бүсийн Өлзийтийн алтны металлогенийн бүсэд байрлах Олон Овоотын алтны алтны бүлэг ордууд, Өндөрнاران ордод хийгдсэн үр дүнгүүдтэй харьцуулан үзсэн (Зураг 14). Тавтын алтны орд дахь $\delta^{34}\text{S}$ ын утгын хэлбэлзэх хязгаар дээрхи Монголын алтны ордуудаас өөр бага утгыг зааж байгаа нь гарал үүслийн хувьд өөр ороген алтны ордуудаас ялгаатай болох нь харагдаж байна. Эдгээр харьцуулалтуудаас Тавтын ордын сульфидийн эх үүсвэр нь илүү гранитоид чулуулгийн талсжилтын явцад үүссэн магмын гидротермаль уусмалын эх үүсвэрээс үүссэн болох нь харагдаж байна.



Зураг 14. Тавтын ордын сульфидийн дээжүүд дэх хүхрийн ($\delta^{34}\text{S}$) изотопын хэлбэлзлийг бусад алтны ордууд болон чулуулгуудтай харьцуулсан диаграмм

6. ДҮГНЭЛТ

Тавтын орд нь алт-мөнгө-зэсийн хүдэржилттэй, хүдрийн судлуудад хийгдсэн флюид ормын судалгаанаас Тавтын ордод дөрвөн төрлийн флюид ормууд тогтоогдсон: хий-шингэн, шингэн-хийн 2 фазтай ором, CO_2 хий агуулсан, хий-шингэн-хатуу фазтай ормууд буюу дөрвөн төрлийн флюид ормууд тогтоогдсон. Тавтын ордод тохиолдож буй ормын төрлүүдээс хийн CO_2 ба шингэн CO_2 агуулсан ормууд нь ховор байгаа нь Монголын ороген алтны ордуудаас ялгаатай байна. Тавтын орд дахь $\delta^{34}\text{S}$ ийн утга ($-8.6\text{‰} \sim -3.6\text{‰}$) гранитоид чулуулгийн талсжилтийн хязгаар дотор байна. Тавтын ордоос авсан сульфидийн $\Delta^{33}\text{S}$ –ын утга '0' орчимд байдаг. Энэ нь Тавтын орд үүсэхтэй холбоотой хүхэр Архейн насны хүхрээс дахин ашиглагдаагүй болохыг заах ба энэ нь хүхрийн эх үүсвэр нь илүү залуу болохыг илэрхийлнэ. Флюид ормын болон хүхрийн изотопын судалгаануудын үр дүнд Тавтын орд нь магмын гидротермаль уусмалаас үүсэлтэй, 200-332°C температур, 6.5-22 жин.%-ийн өндөр давсжилттай, 125 бар даралт, $\text{pH}=4.05\text{--}3.6$ -ийн илүү хүчиллэг уусмалын орчинд 1.5 км-ээс бага гүнд үүссэн орд болохыг тогтоолоо.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ

Монгол хэлээр хэвлэгдсэн материал

Дэжидмаа, Г. 2012. Алтны ордууд. Улаанбаатар. *Монголын геологи ба ашигт малтмал ном. х.* 204-251.

*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.

Оюунгэрэл, С. 2002. Тавтын алтны үндсэн ордын минералогийн судалгаа. *Геологийн асуудлууд” онол-аргазүйн сэтгүүл*, 5: 48-52.

Оюунгэрэл, С., Жаргалан, С., Батбаяр, Б., Ватанабэ, К. 2018. Олон-Овоотын

алтны ордын хүдрийн уусмалын ормын судалгаа. *Хайгуулчин*, 59: 200-210.

Оюунгэрэл, С., Жаргалан, С., Батбаяр, Б., Nakanishi, T., 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.

Төмөртоогоо, О. 2002. Монгол орны тектоник тогтоц. *Монгол Улсын тетоникийн 1:1 000 000-ын масштабын зургийн товч тайлбар.* Улаанбаатар.

Хоролсүрэн, С., Азжаргал, Г., Удаанжаргал, Х., Тэгшбаяр, Б., Алтанзул, Ч., Энхтуяа, Ж., Мөнхзул, Г., Эрдэнэсүвд, С., Анхбаяр, Э., Үржинханд, Б., Батзориг, Г. 2018. *Монгол Улсын 1:200000-ны масштабтай улсын геологийн зураг. Товч тайлбар бичиг, Код-УГЗ-200-Т-V.*

Орос хэлээр хэвлэгдсэн материал

Альмухамедов, А. И., Гордиенко, И. В., Кузьмин, М. И., Томуртогоо, О., Томурхуу, Д. 1996. Джидинская зона-фрагмент Палеоазиатского океана. *Геотектоника*, 4: 25-42.

Ильин, А. В. 1982. Геологическое развитие Южной Сибири и Монголии в позднем докембрии-кембрии. Москва, *Наука*, 114.

Томурхуу, Д. 1999. *Геодинамика формирования доорогенных магматических комплексов Джидинской зоны Монголии. Диссертации на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук.* Улаанбаатар.

Хераскова, Т. Н., Ильинская, М. Н., Лувсанданзан, Б., Дашдаваа, З. 1987.

- Венд-нижнепалеозойские формации каледонид Северной Монголии. – “Раннегеосинклинальные формации и структуры” Тр. ГИН АН СССР, вып. 417. Москва, Наука, 67-100.
- 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.
- Англи хэлээр хэвлэгдсэн материал**
- Badarch, G., Cunningham, W. D., Windley, B. F. 2002. A new terrane subdivision for Mongolia: Implications for the Phanerozoic crustal growth of Central Asia. *Asian Earth Sciences*, 21: 87-110.
- Berzina, A.N., Sotnikov, V.I., Ponomarchuk, V.A., Berzina, A.P., Kiseleva, V.Yu. 1999. Temporal periods of formation of Cu-Mo porphyry deposits, Siberia and Mongolia. in Stanley, C.J., and others, Mineral deposits-Processes to processing: Rotterdam, A.A. Balkema Publishers, p. 321-324.
- Cheney, E. S., Lange, I. M. 1976. Evidence for sulfurization and the origin of some Sudbury-type ores. *Mineralium Deposita*, 2: 80-94.
- Coplen, T. B., Krouse, H. R. 1998. Sulphur isotope data consistency improved. *Nature*, 392 (6671): 32. doi:10.1038/32080.
- David, J. T. Garson., Eng, P. 2004. Technical report on the Tavat Project, Bulgan province, Mongolia. M& Diamonds Corporation, EAMC and Walloper Gold Resources Ltd.
- Davidson, G. J., Large, R. R. 1994. Gold metallogeny and the copper-gold association of the Australian Proterozoic. *Mineralium Deposita*, 29: 208-223.
- Gao, X., Thiemens, M. H. 1991. Systematic study of sulfur isotopic composition in iron meteorites and the occurrence of excess ^{33}S and ^{36}S . *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 55: 2671–2679. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(91\)90381-E](https://doi.org/10.1016/0016-7037(91)90381-E).
- Gordienko, I. V., Kovach, V. P., Gorokhovskiy, D. V., Salnikova, E. B., Kotov, A. B., Yakovleva, S. Z., Zagornaya, N. Yu., Fedoseenko, A. M., Plotkina, Yu. V. 2006. Composition, U-Pb Age, and Geodynamic Setting of Island-Arc Gabbroids and Granitoids of the Dzhida Zone (Southwestern Transbaikalia, Northern Mongolia). *Russian Geology and Geophysics*, 47: 956-962.
- Gordienko, I. V., Filimonov, A. V., Minina, O. R., Gornova, M. A., Medvedev, A. Ya., Klimuk, V. S., Elbaev, A. L., Tumurtogoo, O. 2007. Dzhida island-arc system in the Paleoasian Ocean: structure and main stages of Vendian-Paleozoic geodynamic evolution. *Russian Geology and Geophysics*, 48: 91-106. <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2006.12.009>.
- Gulcan, B., David, A. B., Fatih, O., Jon, W. 2014. Fluid processes in the Tesbihdere base-metal-Au deposit: Implications for epithermal mineralization in the Biga Peninsula, NW Turkey. *Central European Journal of Geosciences*, 6 (2): 148-169. DOI: 10.2478/s13533-012-0169-9.
- Hoefs, J. 2009. *Stable isotope geochemistry*. 6th edition. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. Hardcover: 286 pages. ISBN: 978-3-540-70707-5.
- Hulston, J. R., Thode, H. G. 1965. Variations in the S^{33} , S^{34} , and S^{36} contents of meteorites and their relations to chemical and nuclear effects. *Journal of Geophysical Research*, 70: 3475–3484.
- Huston, D. L., Large, R. R. 1989. A chemical model for the concentration of gold in volcanogenic massive sulphide deposits. *Ore Geology Reviews*, 4: 171-200.
- Khishgee, C. 2015. Orogenic type gold mineralization in the North Khentei gold belt, Central Northern Mongolia. (Doctoral), Simane University, Matsue, Japan.
- Mainwaring, P. R., Naldrett, A. J. 1977.

- Country-rock assimilation and the genesis of Cu-Ni sulfides in the Water Hen intrusion, Duluth Complex, Minnesota. *Economic Geology*, 72: 1269-1284.
- Makoto, Miyamoto. 2012. *Investigation of Gold Mineralization around Gatsuurt Gold Deposit, Northern Mongolia*. Graduation theisis. 4th Grade, Economic Geology Lab, Department of Resources Engineering, Faculty of Engineering, Kyushu University.
- Ono, S., Jennifer, L. E., Alexander, A. P., Pushker, K., Douglas, R., James, F. K., Katherine, H. F. 2003. New insights into Archean sulfur cycle from mass independent sulfur isotope records from the Hamersley Basin, Australia. *Earth and Planetary Science Letters*, 213: 15-30.
- Pavlov, A. A., Kasting, J. F. 2002. Mass-independent fractionation of sulfur isotopes in Archean sediments: Strong evidence for an anoxic Archean atmosphere. *Astrobiology*, 27: 41.
- Potter, R. W., Clyne, M. A., Brown, D. L. 1978. Freezing point depression of aqueous sodium chloride solutions. *Economic Geology*, 73: 284-285.
- Poty, B., Leroy, J., Jachimowicz, L. 1976. A new device for measuring temperature under the microscope. The Chaixmeca microthermometry apparatus. *Bull Soc Fr Minéral Cristallogr*, 99:182-186.
- Roedder, E. 1984. Fluid Inclusions: *Reviews in Mineralogy* 12. *Mineralogical Society of America*.
- Sakai, H., Ishihara, S. 1979. Sulfur isotopic composition of the magnetic-series and ilmenite series granitoids in Japan. *Contrib. Mineral. Petrol*, 68: 107-115.
- Sakai, H., Casadevall, T. J., Moore, J. G. 1982. Chemistry and isotope ratios of sulfur in basalts and volcanic gases at Kilauea volcano, Hawaii. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 46: 729-738.
- So, C. S., Yun, S. T., Shelton, K. L., Zhang, D. Q. 2002. Geochemistry of the Youngbogari deposit, Republic of Korea: An unusual mesothermal gold-silver deposit of the Youngdong area. *Geochemical Journal*, 36: 155-171.
- Ueno, Y., Johnson, M. S., Danielache, S. O., Eskebjerg, C., Pandey, A., Yoshida, N. 2009. Geological sulfur isotopes indicate elevated OCS in the Archean atmosphere, solving faint young sun paradox. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 106: 14784-14789.
- Wilkinson, J. J. 2001. Fluid inclusion in hydrothermal ore deposits. *Lithos*, 55: 229-272.
- White, W. M., 2017. *Geochemistry*. Second edition. Wiley-Blackwell: A John Wiley & Sons, Ltd., Publication. Department of Earth & Atmospheric Science, Cornell University, Ithaca, New York, USA.
- Yang, B., Luff, B. J., Townsend, P. D. 1992. Cathodoluminescence of natural zircons. *Journal of Physics: Condensed Matter*, 4: 5617-5624.
- 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>.
- Zahnle, K., Claire, M., Catling, D. 2007. The loss of mass-independent fractionation in sulfur due to a Palaeoproterozoic collapse of atmospheric methane. *Geobiology*, 4: 271-283.