

Баянголын баруун VI төмрийн ордын интрузив чулуулгийн геохими ба геохронологи

Г.Дашлхагва¹, Н.Тунгалаг^{2*}, Л.Оюунжаргал¹, Г.Оргил^{1,2}

¹ Монгол Улсын Их Сургууль

² ШУА-ийн Геологийн хүрээлэн

* **Холбоо барих зохиогч:**

Н.Тунгалаг

И-мэйл: tungalag@mas.ac.mn

Тулхуур цг: Диорит, геохими, геохронологи, хүдэржилт, төмрийн орд

Abstract

The Bayangol West VI iron deposit in northern Mongolia represents a multi-stage mineralization system genetically associated with dioritic magmatism developed in a subduction-related geodynamic setting. Petrographic observations indicate that the host rocks are predominantly composed of amphibole-plagioclase diorite with porphyritic textures, locally affected by metasomatic and hydrothermal alterations.

Geochemically, the rocks are characterized by low SiO₂ (42.45–46.99 wt%) and relatively high MgO (7.12–8.11 wt%) and CaO (10.43–14.01 wt%), with Na₂O/K₂O ratios of 1.22–2.09, indicating a calc-alkaline affinity typical of arc-related magmatism. Chondrite-normalized REE patterns show enrichment in light rare earth elements (LREE) with weak negative Eu anomalies, suggesting fractional crystallization. Primitive mantle-normalized trace element patterns display enrichment in large-ion lithophile elements (LILE) and depletion in high field strength elements (HFSE), consistent with subduction-related magma signatures. However, similarities to OIB-type patterns imply contributions from a relatively deep mantle source.

Zircon U–Pb geochronology constrains the timing of magmatism. Cathodoluminescence images reveal euhedral to subhedral zircons (50–300 μm) with well-developed oscillatory zoning, indicative of magmatic origin, supported by Th/U ratios of 0.17–1.30. Weighted mean U–Pb ages from concordant analyses (n = 29) yield 439 ± 2 Ma (MSWD = 1.3), corresponding to crystallization during the Middle Ordovician to Early Silurian.

Integrated petrographic, geochemical, and geochronological results indicate that the mineralization formed in an island arc to continental arc transitional setting related to Paleozoic subduction. The iron mineralization is interpreted as a skarn-type system formed through multi-stage processes involving magmatic intrusion, contact metasomatism, structural control and subsequent hydrothermal overprinting.

1. Оршил

Төмрийн хүдэржилт нь дэлхийн хар металлуургийн үйлдвэрлэлийн үндсэн түүхий эд бөгөөд аж үйлдвэржсэн болон хөгжиж буй орнуудын эдийн засгийн хөгжилд стратегийн чухал ач холбогдолтой ашигт малтмалын нэг юм. Ялангуяа магнетит, гематитын төрлийн төмрийн ордууд нь геологийн гарал үүсэл, хүдэржилтийн онцлог, геохимийн шинж чанараараа олон төрөлд хуваагддаг бөгөөд эдгээрийг судлах нь хүдэржилтийн үүсэл хөгжлийн механизмыг тодорхойлоход үүрэгтэй байдаг (Pirajno, 2009; Meinert et al., 2005).

Монгол орны нутаг дэвсгэр нь Төв Азийн ороген бүсийн бүрэлдэхүүн хэсэг бөгөөд палеозой-мезозойн цаг үеийн тектоник, магмын үйл ажиллагааны үр дүнд олон төрлийн металлогений бүсүүд бүрэлдэн тогтсон. Эдгээр бүсүүд нь тектоник орчин, магматизм болон хүдэржилтийн онцлогоороо ялгаатай.

Дархан–Сэлэнгийн бүс нь Монгол орны төмрийн хүдэржилтийн чухал бүсүүдийн нэг бөгөөд энд байрлах Баянголын төмрийн орд нь геологийн тогтоц, хүдэржилтийн хэлбэр, нөөцийн хэмжээгээрээ томоохон ордод тооцогддог.

Тус орд нь диорит болон диорит-порфиритын

дайкуудтай холбоотой магнетитийн хүдэржилтээр тодорхойлогдох ба хүдрийн биетүүд нь ихэвчлэн линз болон давхарга хэлбэртэй, хэдэн зуун метрээс хэдэн километрийн урттай тархсан байдаг. Тус ордын хүдэрт дундаж төмрийн агуулга ойролцоогоор 50 орчим хувьтай бөгөөд хүдрийн эрдсийн үндсэн бүрэлдэхүүнд магнетит зонхилдог гэж тогтоогдсон (Далайжамц, 2009). Сүүлийн жилүүдэд хүдэржилтийн төрөл, гарал үүслийг тодорхойлоход чулуулгийн геохими болон изотопын геохронологийн судалгааг өргөн ашиглаж байна. Иймд энэхүү судалгаагаар Баянголын баруун VI ордын агуулагч чулуулгийн геохими, геохронологийн өгөгдлийг нэгтгэн судалж, магматизм ба хүдэржилтийн уялдаа холбоо, геодинамик орчныг тодорхойлохыг зорив.

2. Региональ геологийн тогтоц

Судалгааны талбай нь өмнөх судлаачдын ангиллаар Тариат-Сэлэнгийн структур-формацын бүсэд (Амантов нар., 1970), террейний ангиллаар Баянголын арлан нумын бүсийн (Badarch et al., 2002) төв хэсэгт оршдог. Энэхүү бүс нутаг нь сүүлийн үеийн геологийн судалгаанд өргөн хэрэглэгдэж буй Монгол орны тектоник мужлалаар Умард Монголын атриат мужийн Төв Монголын массивт хамаарах бөгөөд Орхон голын уртрагийн чиглэлийн дагуу зүүн хойш үргэлжлэх хэсгийг Хулж-Ерөөгийн бүс, баруун тийш үргэлжлэх хэсгийг Оорцог-Хөвсгөл нурууны бүс гэж ангилагдсан (Төмөртогоо, 2012). Бидний судалгааны талбай нь дээрх ангиллаар Орхон голын уртрагийн чиглэл дагуух Хулж-Ерөөгийн бүсийн зүүн хойд хэсэгт оршино.

Металлогений мужлалаар авч үзвэл судалгааны талбай нь Хойд Монголын Баянголын металлогений бүсэд харьяалагдах Дархан-Хүдрийн хүдрийн дүүргийн Баянгол-Төмөртэйн хүдрийн зангилаанд багтана (Дэжидмаа нар., 2021).

Баянголын металлогений бүсийн геологийн тогтоц нь неопротерозойгоос мезозойн үе хүртэлх настай тунамал, метаморф болон магмын чулуулгаас тогтсон нийлмэл бүтэцтэй. Энэ бүсэд неопротерозойн настай Захцаг, Дархан, Бууралтайн формацууд ялгагдах бөгөөд эдгээр нь голчлон метаморфжсон терриген болон карбонат чулуулгаас тогтоно (Эрдэнэчимэг нар., 2017). Эдгээр эртний чулуулгууд нь ихэвчлэн

тектоникийн ан цав, хагаралд хүчтэй хэрчигдэж, интрузив чулуулгаар түрэгдсэн үлдэгдэл маягийн биетүүд байдлаар илэрдэг.

Энэ бүсэд тархсан миссисипийн настай Өрмөгтэй формац нь тэнгисийн орчинд хуримтлагдсан терриген хурдас давамгайлсан нэгж бөгөөд стратиграфийн хувьд сайн судлагдсан байдаг. Харин пермь, триасын настай вулканоген болон тунамал хурдсууд бүс нутагт өргөн хөгжсөн бөгөөд тектоник идэвхжил өндөр байсныг илтгэнэ.

Магмын чулуулгийн хувьд бүс нутагт өмнөх судалгаагаар олон үе шаттай интрузив магматизм илэрдэг. Үүнд габбро, диорит, гранодиорит, гранит болон граносиенитын найрлагатай биетүүд зонхило. Эдгээрийг насны хувьд түрүү палеозойн, девон-карбон-пермийн болон хожуу пермь-түрүү триасын (Сэлэнгэ бүрдэл) интрузивүүдэд ангилдаг.

Сүүлийн үеийн геохронологийн судалгаагаар тус бүс нутагт гранитоид магматизм хэд хэдэн үе шаттай явагдсан нь тогтоогдсон. Тухайлбал, дунд ордовик-түрүү девоны хугацаанд (~460-416 сая жил) идэвхтэй магматизм хөгжсөн нь U-Pb цирконы насны өгөгдлөөр батлагдсан (Мөнхцэнгэл нар., 2023; Тунгалаг нар., 2023; Tungalag et al., 2024). Эдгээр үр дүн нь бүс нутгийн магматизм субдукцтэй холбоотой арлан нумын нөхцөлд явагдсан болохыг илтгэнэ.

Ийнхүү Төв Азийн ороген бүслүүрийн зүүн хойд хэсэгт байрлах Хулж-Ерөөгийн бүсэд дунд ордовикоос түрүү девоны үе хүртэл, түүнчлэн тасалдалтайгаар хожуу пермь-түрүү триасын үед субдукцтэй холбоотой магмын нум, арын нум болон синколизын геодинамикийн нөхцөлд магматизм идэвхтэй явагдсан гэж үздэг (Тунгалаг нар., 2023; Оргил нар., 2025).

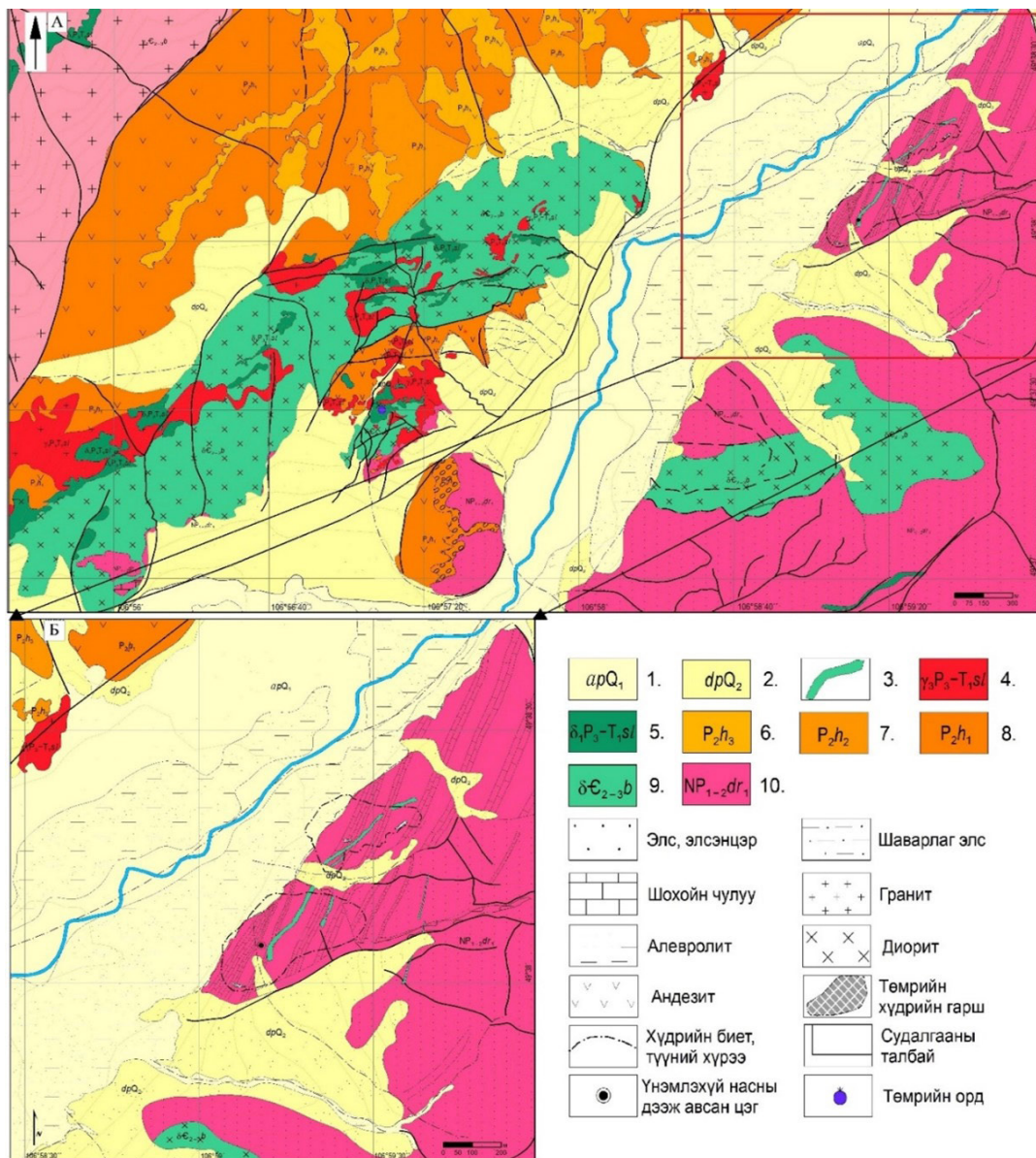
Тус бүсийн хүдэржилт нь ихэвчлэн палеозойн магмын интрузивүүд болон тэдгээрийн контакт бүсэд хөгжсөн метасоматоз хувиралтай холбоотой гэж үздэг. Интрузив чулуулгууд болон карбонат-тунамал чулуулгийн контактын бүсэд скарнижилт үүсч, тэнд магнетитийн хүдэржилт төвлөрсөн байдаг.

Хулж-Ерөөгийн бүс нь төмөр, зэс болон бусад металлын хүдэржилт өргөн хөгжсөн металлогений чухал бүсүүдийн нэг юм. Ялангуяа Баянголын бүс нь төмрийн хүдэржилтээр онцлог бөгөөд магнетитийн төрлийн төмрийн хүдэржилт зонхилжээ.

3. Ордын геологийн тогтоц

Судалгааны талбайд неопротерозойн болон пермийн настай тунамал болон вулканоген гаралтай чулуулгууд зонхилон тархжээ (Зураг 1А). Неопротерозойн Дархан формац нь судалгааны талбайн зүүн хэсгээр тархах ба метаморфжсон терриген болон карбонат чулуунаас тогтоно. Уг формац нь бүс нутгийн суурь стратиграфийн

нэгжийг төлөөлнө. Пермийн настай Хануй группийн Өрхөт формац нь шүтлэг шинж давамгайлсан андезит-базальт болон андезитын найрлагатай вулканоген хурдсаас бүрдэнэ Эдгээр чулуулгууд нь тектоник эвдрэлд хүчтэй өртсөн, блоклог бүтэцтэйгээр илэрч, бүс нутгийн тектоник идэвхжил өндөр байсныг илтгэнэ.



Зураг 1. А) Судалгааны талбайн дүүргийн геологийн зураг (Масштаб:1:200 000, УГЗ-200 төслийн ажлаар гүйцэтгэсэн Бөмбөрөө нар (2004ф, М-48-XXIII)-ын зургийг засварлан ашиглав), В) Ордын геологийн зураг (Масштаб:1:5 000, Энгис ХХК гүйцэтгэсэн хайгуулын ажлын (Пүрэвдорж нар., 2020)) зургийг ашиглав.

Таних тэмдэг: 1-2; Дөрөвдөгчийн хурдас (1. аллюви-пролюви, 2. делюви, пролюви), 3 Дэл судлын чулуулаг: диорит порфир, 4-5. хожуу перм-түрүү триасын Сэлэнгэ бүрдлийн олон фазат интрузив (4. шүлтлэгдүү гранит, граносиенит, ховроор габбро биетийг түрсэн сиенит, риолитын субвулкан биет, дэл судал, 5. дунд мөхлөгт диорит, габбродиоритын силл маягийн биетүүд;), 6-8; пермийн настай Хануй группийн Өрхөт формацын вулканоген хурдас (6. цагаан өнгийн том хайргат туфоконгломерат, базальт, трахибазальтын лавууд, 7. жижиг-дунд хайргат конгломерат, элсэн чулуу, ховроор алевролит, 8. андезибазальт, тэдгээрийн лав, туфолов, туфобрекчи, туфоконгломерат), 9. түрүү палеозойн Баянгол интрузив бүрдэл (габбро, диорит, орд орчим магнетитын болон скарны брекч агуулсан хүдрийн биетүүд), 10. неопротерозойн Дархан формацын метаморфжсон терриген болон карбонат чулуулаг.

Судалгааны талбайд олон үе шаттай интрузив магматизм хөгжсөн бөгөөд үүнд түрүү палеозойн Баянгол интрузив бүрдэл (габбро, диорит, лейкоборжин), түрүү девоны субшүлтлэг гранитоид (лейкокат боржин, риолит-порфир), мөн хожуу перм-түрүү триасын Сэлэнгэ бүрдлийн олон фазат интрузивүүд зэрэг үндсэн магмын бүрдлүүд ялгагдана (Бөмбөрөө нар., 2004). Үүнээс хамгийн эртнийд тооцогдох түрүү палеозойн Баянгол интрузив бүрдэл Дархан формацын чулуулуудыг зүсэж байрлах бөгөөд Баянголын хагарлын хойд хэсгээр зүүн хойш чигтэй томоохон массив тогтоц, харин голын урд хэсгээр дэл судлын биет байдлаар илрэх ба контакт бүсэд скаржилт үүсгэн, магнетитын хүдэржилтэй холбоотой дэл судлын биет байдлаар тохиолдоно.

Баянголын баруун биетийн баруун хэсэг (Зураг 1Б) буюу Эх хөндийн талбайд хийгдсэн хайгуулын ажлын үр дүнгээс үзэхэд хүдэржилт нь амфибол-пироксен-хлоритын найрлагатай скарн болон скарнжсан бүсэд агуулагдсан нэг үндсэн хүдрийн биетээр илэрнэ. Энэхүү хүдрийн биет нь тектоник зөрөг шилжилтийн нөлөөгөөр хойд ба урд хоёр хэсэгт хуваагдсан бөгөөд тэдгээр нь хэд хэдэн линз хэлбэрийн дэд биетүүдээс бүрдэнэ (Зураг 1Б).

Хүдрийн биетүүд нь зүүн хойш чиглэлтэй (~45° суналттай), баруун хойш 40–60° уналттай, агуулагч хурдас болон скарнжсан бүсүүдтэй нийцлэгдүү байрлалтай үе мэшил маягийн морфологи үүсгэнэ. Хүдрийн биетийн зузаан нь 4.3–69.8 м-ийн хооронд хэлбэлзэх ба уналын өнцөг нь хойд биетэд 50–60°, урд биетэд 40–50° байна (Пүрэвдорж нар., 2020).

Тектоник бүтцийн хувьд орд нь баруун хойноос

зүүн урагш чиглэлтэй хагарал, шилжилтүүдийн нөлөөнд автсан бөгөөд эдгээр нь хүдэржилтийн тархалт, морфологийг тодорхойлоход чухал үүрэгтэй. Ялангуяа хайгуулын 5–6-р шугамын хооронд хүдрийн биетүүд тектоник зөрөг шилжилтэд өртөж, ойролцоогоор 200 м орчим амплитудтайгаар шилжсэн нь тогтоогдсон. Мөн эдгээр тектоник бүсүүд нь диоритын дайк, судлуудын байрлалтай давхцаж, магмын дараах үе шатны тектоник идэвхжил болон хүдэржилтийн хяналтын гол бүтэц болж байна.

Ийнхүү Баянголын ордын баруун биет нь карбонат суурь чулуулгийн дотор хөгжсөн интрузив магматизм, контакт-метасоматизм, тектоник эвдрэлийн харилцан үйлчлэлийн үр дүнд үүссэн скарн төрлийн магнетитын хүдэржилт бүхий нийлмэл геологийн тогтоцтой орд юм.

4. Судалгааны арга аргачлал

Гранитоид чулуулгийн эрдэслэг бүрэлдэхүүн, структур, текстур, “Никон” маркийн туйлширсан гэрлийн микроскопоор судалж петрографийн бичиглэл хийж гүйцэтгэв. Петрологи-геохимийн онцлог, геотектоник орчныг нарийвчлан тодруулахаар чулуулгийн гол ислийн химийн найрлагыг XRF76V буюу рентген флюоресценцийн, сарнимал болон газрын ховор элемент (ГХЭ)-ийн химийн найрлагыг ICP-90A масс спектрометрийн багаж төхөөрөмжүүдээр Монгол дахь Швейцарын хөрөнгө оруулалттай Эс Жи Эс лабораторид хийлгэсэн. Эдгээр үр дүнгээс хүдэржилт агуулагч чулуулгийг төлөөлөх 5 диоритын дээжийг сонгон авч, гарсан үр дүнгүүдийг стандарт арга, аргачлалын дагуу боловсруулав. Геохронологийн судалгааны хүрээнд диоритын V16KH-02 дугаар бүхий

дээжинд цирконы U-Pb изотопын аргаар үнэмлэхүй нас тодорхойлов. Дээжийг бутлах, шигших, угаах болон хүнд шингэний аргаар боловсруулж, нийт 92 цирконы мөхлөгөөс морфологи, тунгалаг чанарт үндэслэн 34 мөхлөгийг сонгон шинжилгээнд хамруулсан. U-Pb насны хэмжилтийг “Синсекшн Монголиа” ХХК-аар дамжуулан БНХАУ-ын Ухань хотын “SampleSolution Analytical Technology” Co., Ltd-ийн геохимийн лабораторид гүйцэтгэж, гарсан үр дүнг стандарт изотопын нас тооцооллын аргачлалын дагуу боловсруулсан.

5. Судалгааны үр дүн

5.1. Петрографийн судалгааны үр дүн

Судалгаанд нийт 12 керний дээжийн петрографийн тодорхойлолт хийв. Микроскопын судалгааны үр дүнд 7 дээж нь диоритын найрлагатай интрузив магмын чулуулаг, 3 дээж нь метаморф гаралтай чулуулаг, 1 дээж нь метасомат буюу гидротермаль хувиралд өртсөн чулуулаг, мөн 1 дээж нь хлорит-пироксен-амфиболт скарны төрлийн чулуулаг болох нь тогтоогдлоо.

Эдгээр үр дүнгээс харахад судалгааны талбайд тархсан чулуулгууд нь магмын, метаморф болон метасомат гаралтай чулуулгийн бүрдлээс тогтож байна. Магмын чулуулгуудыг голчлон диоритын найрлагатай интрузив биетүүд болон тэдгээрийн порфир бүтэцтэй төрөл, мөн трахидацитын төрлийн галт уулын чулуулаг төлөөлж байна. Харин метаморф болон гидротермаль процессын нөлөөгөөр үүссэн скарн, роговик, занар, метасоматит зэрэг хувиралтай чулуулгууд өргөн тархсан байна.

Судалгааны талбайд голлон тархалттай амфиболжсон дунд мөхлөгт диорит нь призмлэг мөхлөгт бүтэц, цул текстуртэй (Зураг 2А) бөгөөд чулуулгийг бүрдүүлэгч эрдсийн мөхлөгийн хэмжээ 0.5–4.8 мм байна. Чулуулаг нь голчлон амфибол 55–60% болон плагиоклаз 40–45%-оос тогтох ба бага хэмжээний хоёрдогч болон дайвар эрдсүүд агуулагдана (Зураг 2).

Анхдагч диорит нь метасоматизмын нөлөөгөөр амфиболжсон бөгөөд үүний үр дүнд амфиболын

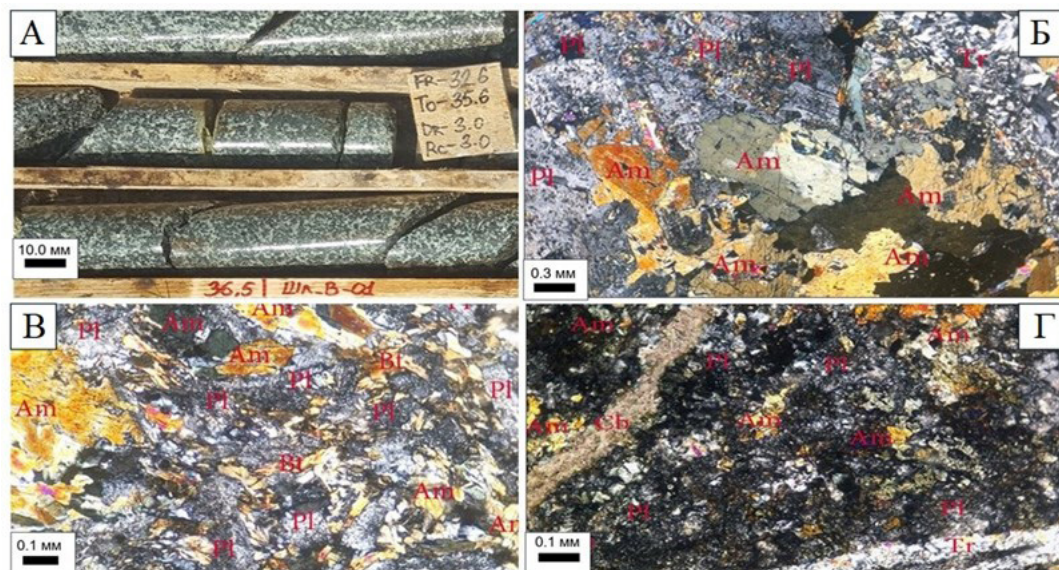
агуулга нэмэгдэж чулуулгийн зонхилох эрдсийг бүрдүүлж байна. Амфибол нь 0.5-4.8 мм хэмжээтэй, бүдэг ногоон өнгөтэй, призмлэг болон ромбо маягийн талстууд үүсгэх ба зарим хэсэгтээ эпидот, карбонат болон хлоритод хэсэгчлэн түрэгдсэн байна (Зураг 2Б). Амфиболын унтралын өнцөг $c:Ng = 16^{\circ}-18^{\circ}$ байна.

Плагиоклаз нь 0.5-3.5 мм хэмжээтэй, хавтгай болон призмлэг хэлбэртэй талстуудаар илэрч, ихэнх нь серицитжилт, пелитжилт болон соссюритжилт орсон байна (Зураг 2Б,В). Плагиоклазын найрлага нь хамгийн их симметр унтралын өнцгөөр тодорхойлогдоход андезин (N33–35) найрлагатай байна. Зарим плагиоклазын талст дотор амфиболын нарийн мөхлөгүүд пойкили тоор агуулагдсан байдал ажиглагдана.

Акцессор эрдсүүдээс 0.05-0.7 мм хэмжээтэй, призмлэг болон ромбо маягийн хэлбэртэй сфен, мөн 0.02-0.5 мм хэмжээтэй изометрлэг, призмлэг болон жигд бус хэлбэртэй хүдрийн эрдсүүд ажиглагдана. Чулуулаг нь мөн ойролцоогоор 0.6 мм өргөнтэй тремолитийн нарийн судлаар зүсэгдсэн байна (Зураг 2Г).

5.2. Геохимийн шинжилгээний үр дүн

Судалгаанд хамрагдсан диоритын геохимийн найрлага нь харьцангуй бага SiO₂ (42.45-46.99 wt%), харин өндөр MgO (7.12-8.11 wt%) болон CaO (10.43-14.01 wt%) агуулгатайгаараа онцлог юм. Al₂O₃-ийн агууламж 15.98-17.52 wt% хооронд хэлбэлзэх бөгөөд Na₂O/K₂O харьцаа 1.22-2.09 хооронд байгаа нь Na давамгайлсан шинжийг илэрхийлнэ. Үүний зэрэгцээ K₂O (0.34-0.72 wt%) болон TiO₂ (0.58-0.89 wt%) харьцангуй бага агууламжтай байна. Эдгээр үзүүлэлтүүд нь судалгаанд хамрагдсан дээжүүдийн ислүүдийн агууламж харьцангуй тогтвортой бөгөөд харин MgO ба CaO-ын агууламж нь өндөр болохыг илтгэж байна. Цахиурын ислийг (SiO₂) шүлтийн нийлбэртэй (Na₂O+K₂O) харьцуулсан ангиллын диаграмм дээр габбро-диорит-монцодиоритын найрлагатай, шүлтлэгдүү эгнээнд хамаарч байна (Зураг 3А).



Зураг 2. А: Ордын агуулагч магмын чулуулгийн макро фото Б-Г: Амфиболжсон дунд мөхлөгт диоритын микро зураг. Плагиоклаз-(Pl), Амфибол-(Am), Биотит-(Bt), Карбонат-(Ch),Тремолитын судал-(Tr)

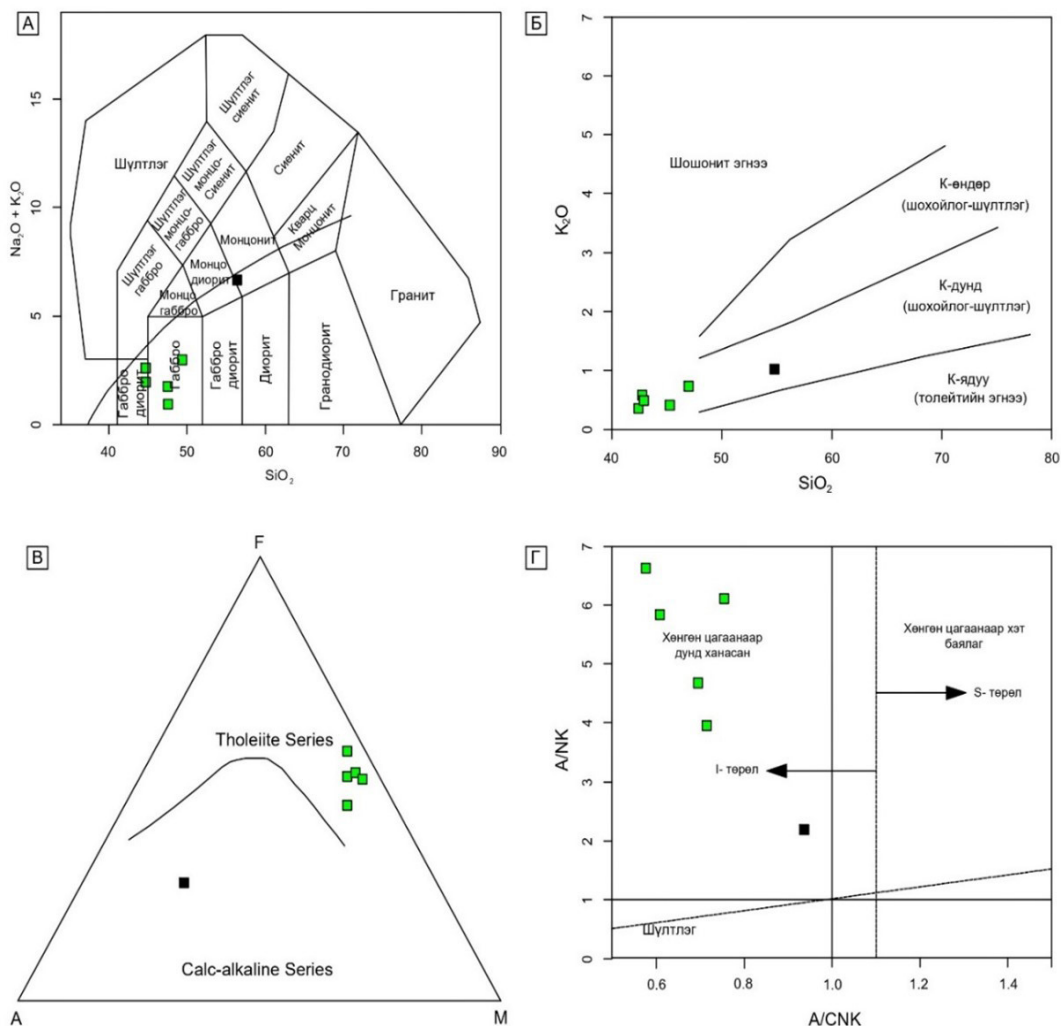
Мөн $\text{SiO}_2\text{-K}_2\text{O}$ диаграммд (Pecserillo and Taylor, 1976) дээжүүд К-дунд шохойлог-шүлтлэг эгнээнд хамаарна (Зураг 3Б).

AFM-диаграммд ихэнх дээжүүд толентын магмын найрлагатайг илтгэнэ (Зураг 3В). Харин шохойлог-шүлтлэг эгнээнд байрласан дээж нь монцодиорит бөгөөд хувирлын явцад шүлтийн элементүүд дахин хувиарлалт явагдсантай холбоотой байж болно. Хөнгөнцагааны ханалтын индексийн A/CNK-A/NK диаграмм дээр дээжүүд $A/CNK < 1.1$ утгатай, хөнгөнцагаанаар дунд зэрэг ханасан (metaluminous) ба Чаппел нарын (Chappell et al., 1974) гранитоидын ангиллаар I төрлийн гранитоидын шинжийг илэрхийлж байна (Зураг 3Г).

Судалгаанд хамрагдсан диоритлог чулуулгуудын вариацийн диаграммд MgO , FeO , CaO болон TiO_2 зэрэг суурилаг ислүүд SiO_2 -ийн агууламж нэмэгдэхийн хэрээр буурах хандлага ажиглагдаж байна. Мөн Al_2O_3 -ийн агуулга буурч буй нь плагиоклазын фракцлалт явагдсантай холбоотой бөгөөд магмын ялгарал давамгайлсан хувьслын хөгжлийн чиг хандлагыг илэрхийлнэ (Зураг 4). Na_2O -ийн харьцангуй өсөлт, K_2O -ийн бага агууламж нь эдгээр чулуулгуудыг К-багатай

шохойлог-шүлтлэг эгнээнд хамаарахыг илэрхийлэх бөгөөд энэ нь ихэвчлэн субдукцын бүсийн нумын магматизмтай холбоотой геодинамик орчны шинж тэмдэг болдог. Иймд уг диоритлог магмууд нь мантийн эх үүсвэрээс гаралтай, тодорхой хэмжээгээр царцдасын материалтай харилцан үйлчилсэн бөгөөд субдукцын бүсийн нумын орчинд үүсч, фракцлалт давамгайлсан хөгжлийн шат дамжлагаар үүссэн гэж үзэх үндэслэлтэй байна.

ГХЭ: Диоритын дээжүүдэд газрын ховор элементийн (ГХЭ) нийлбэр агууламж 77.8-88.79 г/т-ийн хооронд, $\text{X}_{\text{HГХЭ}}/\text{X}_{\text{ГХЭ}}$ -ийн харьцаа дунджаар ~6.08, мөн $(\text{La}/\text{Yb})_N$ харьцаа дунджаар 3.45 тус тус байна. Хондритоор нормчилсон газрын ховор элементийн тархалтын диаграммд хөнгөн газрын ховор элементүүдээр ($\text{X}_{\text{HГХЭ}}$) баяжсан, харин хүнд газрын ховор элементүүд ($\text{X}_{\text{ГХЭ}}$)-ийн хувьд харьцангуй тэгшрэх хандлага ажиглагдана. Мөн бага зэрэг сөрөг Eu аномаль илэрч байгаа нь мөн плагиоклазын талстжилт явагдсан, улмаар магмын ялгарал (fractional crystallization)-ын нөлөөг илтгэнэ (Зураг 5А). Анхдагч мантид нормчилсон спайдер диаграммд ионы радиус ихтэй элементүүд (ИРТЭ: Rb, Ba, K) харьцангуй баяжилттай, харин өндөр цэнэгтэй элементүүд (ӨЦЭ: Nb, Ta, Ti)-ийн сөрөг аномаль ажиглагдаж байна (Зураг

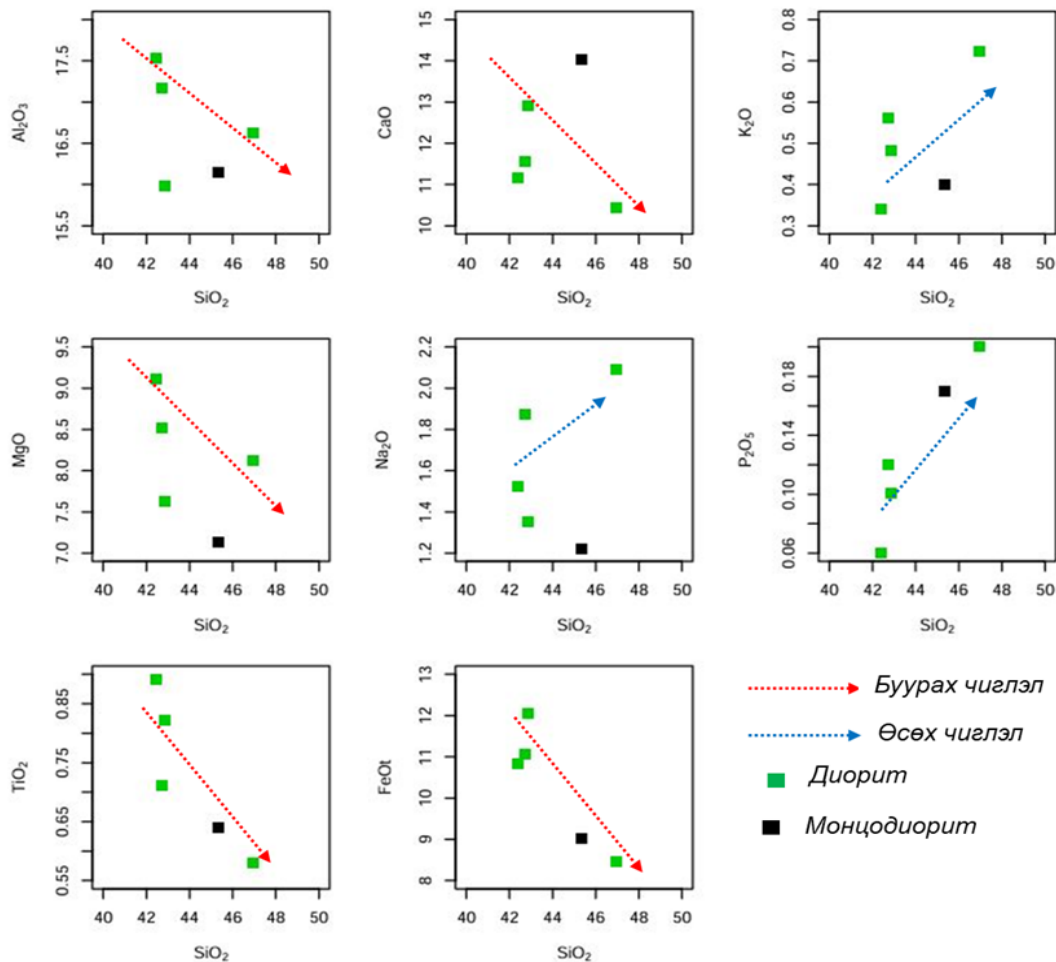


Зураг 3. Гранитоид чулуулгийн ангиллын диаграммууд: А– Цахиурын исэл (SiO_2) ба шүлтийн нийлбэр ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$) (Middlemost., 1994); Б-Цахиурын исэл (SiO_2), калийн исэл (K_2O)-ийн хамаарлын диаграмм (Peccherillo and Taylor., 1976) ; В-AFM диаграмм (Irvine and Baragar., 1971); Г-Хөнгөнцагааны ханалтын индексийн A/CNK - A/NK (Shand, et al., 1981). Таних тэмдэг: ногоон дөрвөлжин-диоритын дээжүүд, хар дөрвөлжин-монцодиоритын дээжийг тус тус илэрхийлэв.

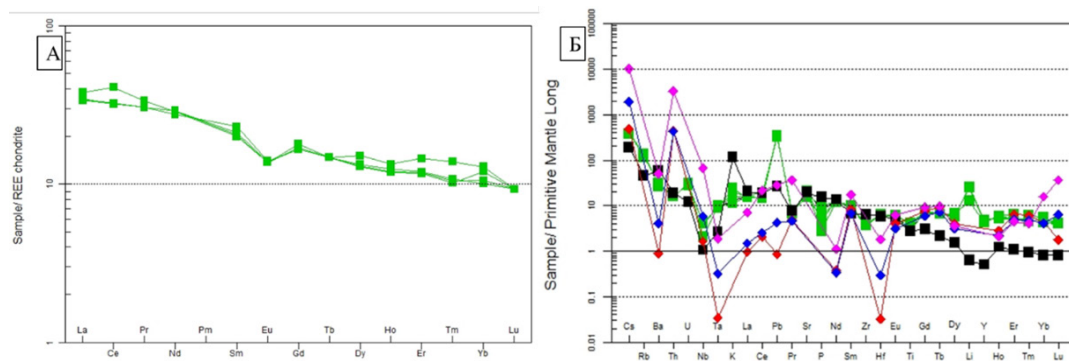
5В). Энэхүү геохимийн онцлог нь субдукцын бүсийн магматизмд нийтлэг тохиолддог шинжтэй нийцэж байна.

Чулуулгийн геодинамик орчинг тодруулах зорилгоор $(\text{Y}+\text{Nb})\text{-Rb}$, Y-Nb , $(\text{Ta}+\text{Yb})\text{-Rb}$ ба Yb-Ta (Pearce et al., 1984) элементүүдийн агуулгын хэмжээнд тулгуурлан дискриминацийн

диаграммуудыг байгуулахад галт уулын нумын геодинамик нөхцөлд үүссэнийг харуулна (Зураг 6А). Энэ нь LILE (Rb, Ba, K)-ээр баяжиж, HFSE (Nb, Ta)-ийн бууралттай геохимийн онцлогтой нийцэж, субдукцын бүсийн магмын нийтлэг шинжийг илэрхийлж байна.



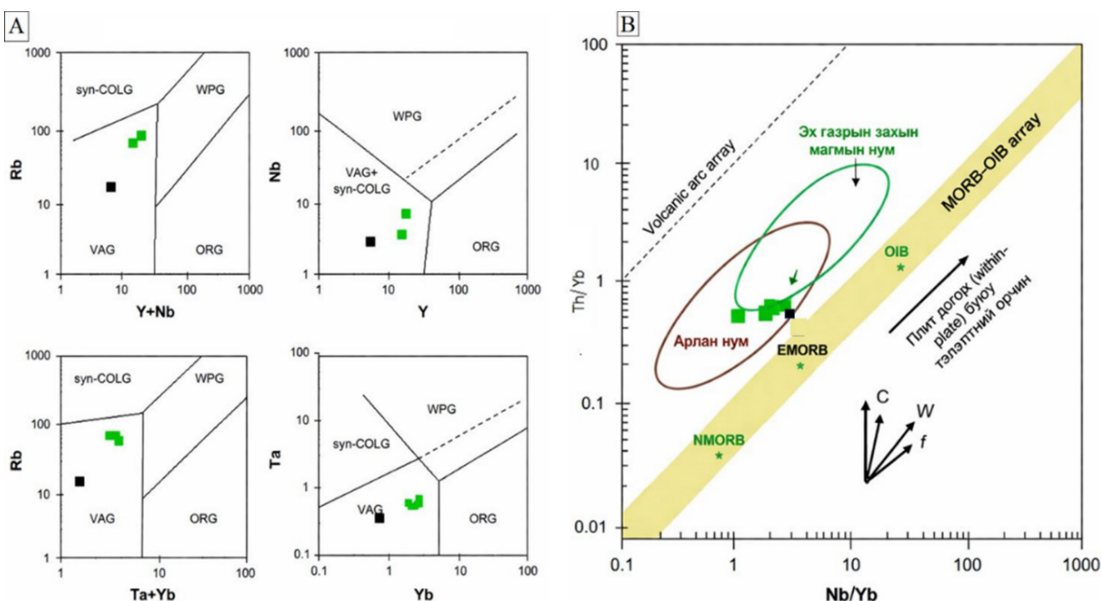
Зураг 4. SiO₂- Al₂O₃, CaO, K₂O, MgO, Na₂O, P₂O₅, TiO₂, FeOt-арууламжийн өөрчлөлтийг үзүүлсэн вариацийн диаграмм.



Зураг 5. А-Чулуулгийн газрын ховор элементийн тархалтыг хондритод нормчилсон (Bonynnton., 1984 диаграмм), Б-чулуулгийн сарнимал элементийн тархалтыг анхдагч мантид нормчилсон (Sun, McDonough et al., 1989) диаграмм

Мөн Nb/Yb-Th/Yb диаграммаас харахад дээжүүд далайн арлын болон эх газрын нумын магмын шилжилтийн орчинд үүссэн ба субдукцлагдсан хавтангаас ялгарсан магмын нөлөөтэй болохыг илтгэнэ (Зураг 6Б). Энэхүү агуулагч диоритын газрын ховор элементүүд болон сарнимал элементүүдийн агууламжийг

далайн арлын базальт (OIB), баяжигдсан далайн голч нурууны базальт (E-MORB) болон энгийн далайн голч нурууны базальт (N-MORB)-ийн агууламжтай харьцуулахад OIB-тай нийцэж байна. Энэ нь магматизмын эх үүсвэр нь далайн арлан нумын орчинд харьцангуй гүний магмын үүсэлтэй болохыг илтгэнэ.



Зураг 6. Гранитоидын тектоникийн дискриминацийн диаграммууд: А-(Y+Nb)-Rb, Y-Nb, (Ta+Yb)-Rb ба Yb-Ta (Pearce et al., 1984), Б-Th/Yb- Nb/Yb (Pearce, 2008) диаграмм.

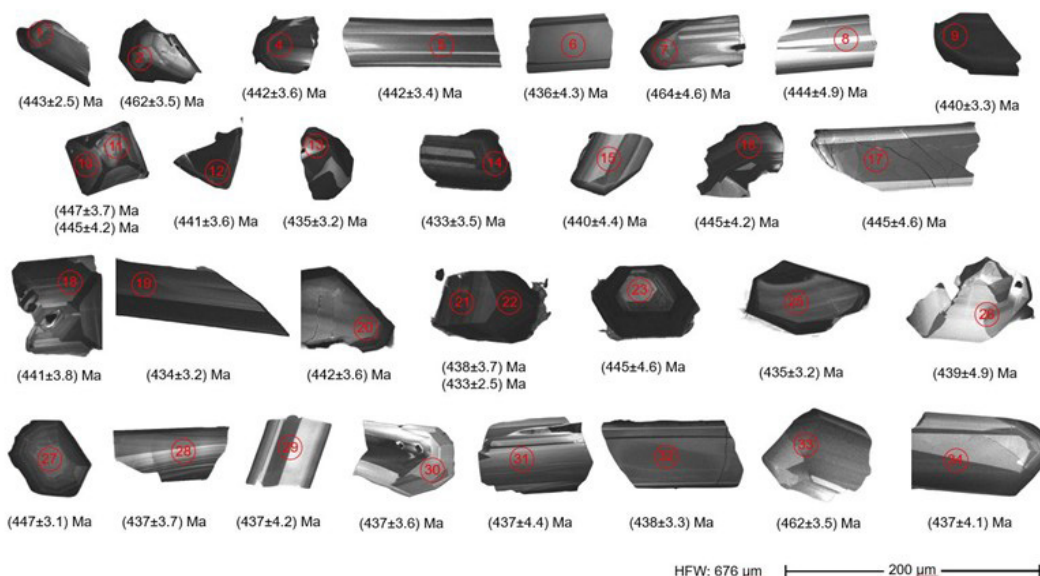
5.3. Чулуулгийн геохронологийн шинжилгээний үр дүн

Дээжээс нийт 92 цирконы мөхлөгийг шинжилгээнд бэлтгэж, дотоод бүтэц болон текстурын харьцуулалт хийсний үндсэн дээр 34 мөхлөгт U-Pb изотопын хэмжилт хийсэн.

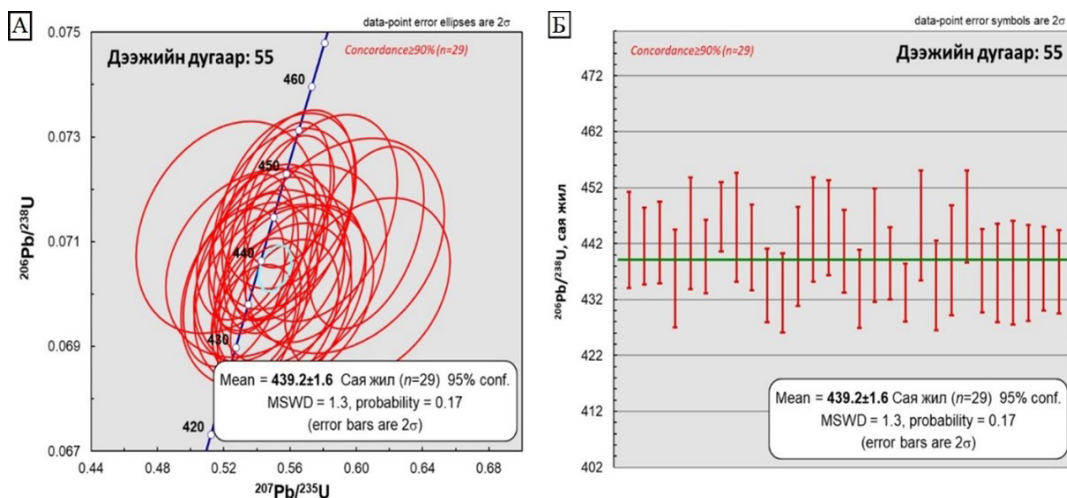
Катодолуминесценцийн (CL) зураглалд цирконы мөхлөгүүд нь 50-300 μm хүртэл хэмжээтэй, ихэвчлэн сайн хөгжсөн призм болон богино призм хэлбэртэй байна. Ихэнх мөхлөгүүдэд хэлбэлзэлт бүслүүржилт (oscillatory zoning) илрэнэ. Зарим мөхлөгүүдэд бага зэрэг элэгдэлд орсон шинж тэмдэг ажиглагдана (Зураг 7). Цирконы Th/U харьцаа 0.1-ээс тогтмол их (Th/U = 0.17-1.30) байгаа нь тэдгээрийн магмын гарал үүсэлтэйг

баталж байна.

Хэмжилтийн үр дүнгийн боловсруулалтыг 90% -иас дээш конкорд дүн дээр тулгуурлан тооцоолсон бөгөөд цирконы (n=29) жигнэсэн дундаж нас 439 ± 2 сая жил (MSWD = 1.3) байна (Зураг 8А;Б). Түүнчлэн гурван цирконы мөхлөгт 464-462 сая жилийн нас тогтоогдсон бөгөөд энэ нь цирконы захын бүслүүрт хийгдсэн хэмжилт учраас үлдэгдэл цирконы нас гэж тайлбарлах боломжгүй юм. Энэхүү геохронологийн судалгаанаас Баянголын төмрийн ордын Баруун хойд биетийн агуулагч чулуулаг нь хожуу ордовикоос түүрүү силиурын үед талсжсан болохыг тогтоолоо.



Зураг 7. Цирконы катодолуминесценцийн (CL) зураг болон хэмжилтийн цэгүүд.



Зураг 8. А-Цирконуудын U-Pb конкорд диаграмм; Б-Жигнэсэн дундаж насны гистограмм.

6. Хэлэлцүүлэг

Петрографийн судалгаагаар ордын агуулагч чулуулгууд нь амфибол-плагиоклаз давамгайлсан диоритын найрлагатай бөгөөд метасоматоз болон гидротермаль хувиралд өргөн өртсөн байна. Энэ нь магмын дараах шингэний буюу гидротермаль хувирал эрчимтэй явагдсаныг илтгэнэ.

Геохимийн шинжээр эдгээр чулуулгууд нь бага SiO_2 , өндөр MgO , CaO , мөн $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O} > 1$ утгатай бөгөөд шохойлог-шүлтлэг (calc-alkaline)

магмын эгнээнд хамаарч байна. Газрын ховор элементийн тархалт нь ХөгХЭ-ээр баяжсан, сул сөрөг Eu аномальтай байгаа нь плагиоклазын фракцлалт явагдсаныг илтгэнэ (Rollinson, 1993). Харин ионы радиус томтой элементүүдийн баяжилт, өндөр цэнэгтэй элементүүдийн хомсдол нь субдукцын бүсийн магматизмын онцлог (Wilson, 1989)-той нийцэж байна. Гэсэн хэдий ч судалгааны дээжүүдийн ГХЭ болон сарнимал элементийн геохимийн шинж нь далайн арлын

базальт (ОИВ)-тай төстэй байгаа нь магмын эх үүсвэрт гүний мантийн бүрэлдэхүүн тодорхой хэмжээгээр оролцсоныг илтгэнэ.

Геодинамикийн тектоникийн дискриминацийн диаграммын (Nb/Yb-Th/Yb) үр дүнгээс харахад судлагдсан магмын чулуулгууд нь субдукцын бүсийн нумын магматизмд хамаарах бөгөөд арлан нум-эх газрын нумын шилжилтийн орчинд үүссэн байна. Ийм орчин нь далайн хавтан субдукцлагдах явцад мантийн эх үүсвэр флюид болон хайлмалаар баяжиж, магмын үүсэл, хувьслыг хянадаг нийлмэл геодинамик нөхцөл бүрэлддэг (Elliott et al., 1997; Sillitoe, 2010).

Геохронологийн судалгаагаар тодорхойлогдсон 439 ± 2 сая жилийн нас, мөн зарим цирконы мөхлөгөөс илэрсэн $464-462$ сая жилийн насны утгууд нь магмын систем олон үе шаттайгаар хөгжсөнийг илтгэнэ. Эдгээр үр дүн нь магматизм хожуу ордовик-түрүү силурын хугацаанд идэвхтэй явагдсаныг харуулж байгаа бөгөөд Төв Азийн ороген бүсийн палеозойн субдукцын процессын идэвхжилтэй сайн уялдаж байна (Badarch et al., 2002; Windley et al., 2007).

Хүдэржилтийн үүсэл, хөгжлийг авч үзвэл өмнөх судалгаагаар тогтоогдсон магнетит-пирротин-пирит-халькопирит дараалал нь ордын үүсэл олон үе шаттай явагдсаныг илтгэдэг. Эхний шатанд диоритлог магмын интрузивийн нөлөөгөөр карбонатлаг чулуулгууд скарнжиж, магнетитын хүдэржилт үүссэн бол дараагийн шатанд гидротермаль шингэний үйлчлэлээр сульфиджилт хөгжсөн байна. Ийм төрлийн магма-гидротермаль гаралтай, олон үе шаттай хүдэржилт нь субдукцын орчинд үүссэн скарны ордуудад түгээмэл ажиглагддаг (Einaudi et al., 1981; Meinert et al., 2005; Sillitoe, 2010).

7. Дүгнэлт

Баянголын баруун VI ордын агуулагч чулуулгууд нь амфибол-плагиоклаз давамгайлсан диоритын найрлагатай, метасомат болон гидротермаль хувирал өргөн хөгжсөн интрузив чулуулгууд байна.

Геохимийн шинжээр эдгээр чулуулгууд нь бага SiO₂, өндөр MgO ба CaO, Na давамгайлсан

I-төрлийн шохойлог-шүлтлэг магмын эгнээнд хамаарах бөгөөд ионы радиус томтой элементүүдийн баяжилт, Nb-Ta-Ti-ийн сөрөг аномаль нь субдукцын орчны магматизмын шинжийг илэрхийлнэ.

Уг ордын агуулагч чулуулгийн насыг цирконы U-Pb изотопын аргаар анх удаа тодорхойлж, 439.2 ± 1.6 сая жилийн дундаж настай болохыг тогтоов. Ийнхүү өндөр нарийвчлалтай геохронологийн өгөгдөл нь тухайн бүс нутгийн магматизмын цаг хугацааны хүрээ, хөгжлийн үе шат, түүнтэй холбоотой хүдэржилтийн процессуудыг илүү бодитойгоор тайлбарлах боломж бүрдэв.

Судалгааны үр дүнг нэгтгэн үзэхэд тус ордын хүдэржилт нь палеозойн субдукцын орчинд бүрэлдсэн арлан нум-эх газрын нумын шилжилтийн бүсэд үүссэн бөгөөд мантийн эх үүсвэр давамгайл, тодорхой хэмжээгээр царцдасын оролцоотой, флюидын метасоматизмын нөлөөгөөр хөгжсөн олон үе шат бүхий магма-скарн-гидротермаль төрлийн төмөр-сульфидын хүдэржилт болох нь тогтоогдож байна.

Ашигласан 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. *Journal of Asian Earth Sciences* 21, 87–110
- Boynnton, W.V. (1984) *Geochemistry of Rare Earth Elements: Meteorite Studies*. In: Henderson, P., Ed., *Rare Earth Element Geochemistry*, Elsevier, New York, 63-114.
- <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-444-42148-7.50008-3>
- Chappell, B.W. and White, A.J.R. (1974) Two Contrasting Granite Types. *Pacific Geology*, 8, 173-174.
- Elliott, T., Plank, T., Zindler, A., White, W., Bourdon, B., 1997. Element transport from slab to volcanic front at the Mariana arc. *Journal of Geophysical Research* 102(B7), 14991–

- 15019.
- Einaudi, M.T., Meinert, L.D., Newberry, R.J., 1981. Skarn deposits. *Economic Geology* 75th Anniversary Volume, 317–391.
- Franco Pirajno, 2009. *Hydrothermal Processes and Mineral Systems*. Springer.
- Irvine, T.N., Baragar, W.R.A., (1971). A Guide to the Chemical Classification of the Common Volcanic Rocks. *Can. J. Earth Sci.* 8, 523–548. <https://doi.org/10.1139/e71-055>
- Middlemost, E.A.K. (1994) Naming Materials in the Magma/Igneous Rock System. *Earth-Science Reviews*, 37, 215-244. [http://dx.doi.org/10.1016/0012-8252\(94\)90029](http://dx.doi.org/10.1016/0012-8252(94)90029)
- Meinert, L.D., Dipple, G.M., Nicolescu, S. (2005). World Skarn Deposits. *Economic Geology* 100th Anniversary Volume, 299–336.
- Middlemost, E.A.K. (1994) Naming Materials in the Magma/Igneous Rock System. *Earth-Science Reviews*, 37, 215-244. [http://dx.doi.org/10.1016/0012-8252\(94\)90029](http://dx.doi.org/10.1016/0012-8252(94)90029)
- Pearce, J.A., Harris, N.B.W. and Tindle, A.G. 1984. Trace Element Discrimination Diagrams for the Tectonic Interpretation of Granitic Rocks. *Journal of Petrology*, 25, 956-983. <http://dx.doi.org/10.1093/petrology/25.4.956>
- Pearce, J.A., 2008. Geochemical fingerprinting of oceanic basalts with applications to ophiolite classification and the search for Archean oceanic crust. *Lithos* 100, 14–48.
- Peccerillo, A. and Taylor, S.R. (1976) Geochemistry of Eocene Calc Alkaline Volcanic Rocks from Kastamonu Area, Northern Turkey. *Contribution to Mineralogy and Petrology*, 58, 63-81. <http://dx.doi.org/10.1007/BF00384745>
- Rollinson, H., 1993. *Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation*. Longman Scientific & Technical, London, 352 p.
- Sillitoe, R.H., 2010. Porphyry copper systems. *Economic Geology* 105, 3–41.
- Sun, S.-s., & McDonough, W.F. (1989). Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts. In: *Magmatism in the Ocean Basins*.
- Tungalag N, Gansukh Orgil, Bayaraa Ganbat, Sarantuya Bolortsetseg, 2024. The geochemistry and geochronology of gabbroid rocks in the Orkhon area in Khulj Yero Belt, North Mongolia. *Book of abstracts, Central Asian Orogenic Belt 2024, Ulaanbaatar, Mongolia*, p60-62. <https://www.mpti-web.com/caob24-abstracts>.
- Windley, B.F., Alexeiev, D., Xiao, W., Krüner, A., Badarch, G., 2007. Tectonic models for accretion of the Central Asian Orogenic Belt. *Journal of the Geological Society* 164, 31–47.
- Wilson, M., 1989. *Igneous Petrogenesis: A Global Tectonic Approach*. Unwin Hyman, London, 466 p.
- Амантов В.А., Благодрагов В.А., Борзаковский Ю.А. 1970. нар Основные черты стратиграфии палеозоя Монгольской Народной Республики //Стратиграфия и тектоника Монгольской Народной Республики, Москва, Недра, с.8-63
- Бөмбөрөө нар., 2004. Дүүргийн геологийн зураг, Масштаб:1:200 000, УГЗ-200 төслийн ажлаар гүйцэтгэсэн (М-48-XXIII;)
- Далайжамц Д., 2009. Баянголын төмрийн ордын геологийн тогтоц, хүдрийн найрлага, магистрын дипломын ажил.
- Доржготов Д. Нар., 2008. Монгол орны төмрийн ордын төрөл, тархалтын онцлог.
- Дэжидмаа Г., Тунгалаг Н., Батсүх Ж., Одбаяр., С. Баасансүрэн. 2021. “Монгол орны металоогений 1:500 000-ны масштабын зураг зүйн бүтээл.
- Мөнхцэнгэл, А.Цимэцэрэн., О.Гэрэл., Б.Алтанзул., Б.Батхшиг., Л.Жаргал., Б.Гэндэнжамц., Б.Манзшир. 2023. Эрдэнэтийн дүүргийн магмын чулуулгийн геохронологи, палеогеодинамик. Хайгуулчин эрдэм шинжилгээний сэтгүүл №67 хуудас 16.
- Оргил Г., Тунгалаг Н., Болорцэцэг С.,

- Өнөрбаяр О., 2025. “Хулж-Ерөөгийн бүс болон Хараагийн бүсийн заагийн Баянгол орчмын гранитоид чулуулгийн геохими ба геохронологийн судалгаа”, Хайгуулчин үйлдвэрлэл эрдэм шинжилгээний сэтгүүл. №69, х73-83. Улаанбаатар
- Пүрэвдорж С., Цэнд-Аюуш Ц., Цэрэн-Аюуш Э., Дашлхагва Г., 2020. Баянголын төмрийн хүдрийн ордын баруун биетийн үргэлжлэл Баруун-VI ордод 2017-2019 онд гүйцэтгэсэн хайгуулын ажлын үр дүнгийн тайлан, Төмөртогоо О, 2012. Монгол Улсын нутаг дэвсгэрийн тектоник дүүрэгчлэл, Масштаб 1:3000000
- Тунгалаг Н., Оргил Г., Болорцэцэг С., Энхцацрал Д., 2023. Хулж-Ерөөгийн бүсийн Шарын голын дүүрэгт тархалттай гранитоид чулуулгийн петро-геохимийн судалгаа, Геологи судлал Д27, Х104-123
- Эрдэнэчимэг Д., Энхбаяр Б., Болдбаатар Г., Дамдинжав Б., Тайванбаатар Ц. 2017. Монгол Улсын 1:500000-ны масштабын геологийн зураг, 8480ф.